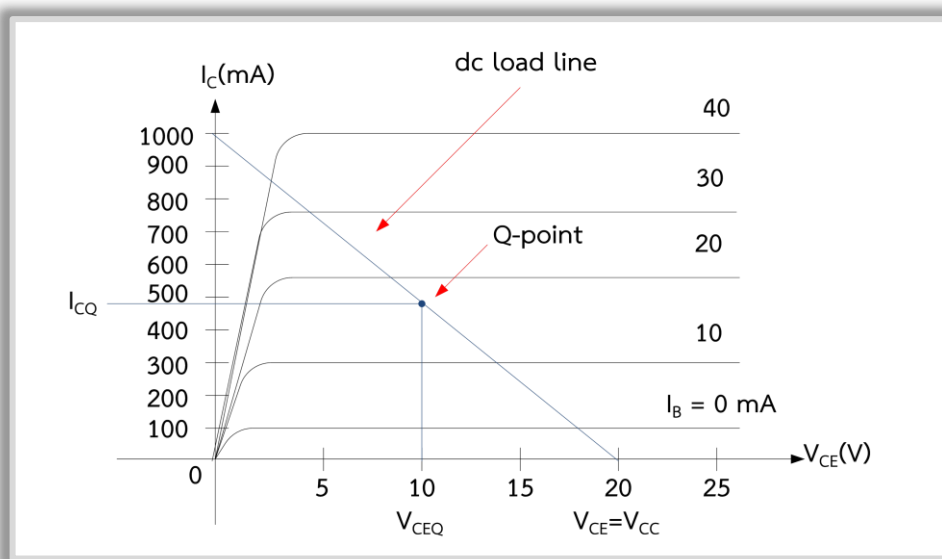
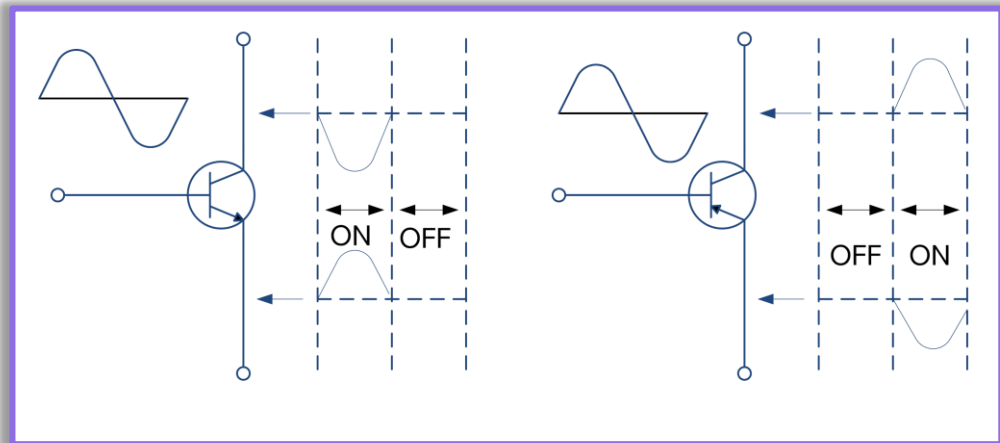


หน่วยที่ 10 วงจรขยายกำลัง
(Power Amplifiers)



โดย

นายเอกนรินทร์ พลาชื้อวะ

แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคฉะเชิงเทรา

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

กระทรวงศึกษาธิการ

หน่วยที่ 10

วงจรขยายกำลัง (Power Amplifiers)

สาระสำคัญ

วงจรขยายความถี่เสียง (Audio amplifier) โดยทั่ว ๆ ไปจะใช้สำหรับขยายแรงดันส่วนวงจรเพาเวอร์แอมพลิฟายเออร์ (Power amplifier) เป็นวงจรขยายสัญญาณขนาดใหญ่ (Large-signal amplifier) ซึ่งจะใช้ขยายสัญญาณเอาต์พุตให้มีกำลังตกคร่อมโหลด วงจรขยายกำลัง ในคลาส A เป็นการไบแอสที่กึ่งกลางของเส้นโหลด หรือจัดไบแอสคลาส B ซึ่ง เป็นการให้ไบแอสที่จุดคัตออฟ หรือคลาส AB จัดไบแอสเหนือจุดคัตออฟเล็กน้อย การต่อทรานซิสเตอร์ 2 ตัวร่วมกันเรียกว่าวงจรขยายแบบพุชพูล (Push-pull amplifier) การเชื่อมต่อสัญญาณเอาต์พุตให้กับโหลด อาจใช้ทรานสฟอเมอร์คัปเปิล (Transformer coupled) คาปาซิเตอร์คัปเปิลหรือไดเร็กคัปเปิลก็ได้

จุดประสงค์การเรียนรู้

จุดประสงค์ทั่วไป

เพื่อให้มีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับ วงจรขยายกำลังคลาส A วงจรขยายกำลังคลาส B วงจรขยายกำลังคลาส C วงจรขยายกำลังคลาส D วงจรคอมพลิเมนตารี(Complimentary) การระบายความร้อนในวงจรขยายกำลัง

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. วงจรขยายกำลังคลาส A
2. วงจรขยายกำลังคลาส B
3. วงจรขยายกำลังคลาส AB
4. วงจรขยายกำลังคลาส D
5. วงจรคอมพลิเมนตารี (Complimentary)
6. การระบายความร้อนในวงจรขยายกำลัง

หัวข้อเนื้อหา

- 10.1 วงจรขยายกำลังคลาส A
- 10.2 วงจรขยายกำลังคลาส B
- 10.3 วงจรขยายกำลังคลาส C
- 10.3 วงจรขยายกำลังคลาส D
- 10.4 วงจรคอมพลิเมนต์ารี (Complimentary)
- 10.5 การระบายความร้อนในวงจรขยายกำลัง

แบบทดสอบก่อนเรียน

หน่วยที่ 10 วงจรขยายกำลัง (Power Amplifiers)

คำชี้แจง

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

-
1. ข้อใดเป็นลักษณะของวงจรขยายกำลังคลาส AB
 - ก. วงจรขยายที่มีการจ่ายไบอัสทรานซิสเตอร์ตลอด 1 ไซเคิล
 - ข. วงจรขยายที่มีการจ่ายไบอัสทรานซิสเตอร์ที่ไม่เกิน 1 ไซเคิล
 - ค. มีประสิทธิภาพกำลังของการขยายสูงกว่า 90%
 - ง. วงจรขยายที่มีการจ่ายไบอัสทรานซิสเตอร์ต่ำกว่าครึ่งไซเคิล
 - จ. เป็นวงจรขยายกำลังที่ใช้กับสัญญาณพัลส์ดิจิทัล
 2. ข้อใดมีลักษณะตรงกับวงจรขยายกำลังคลาส A
 - ก. ใช้การไบอัสทรานซิสเตอร์ที่กึ่งกลางของเส้นโหลด
 - ข. มีการเกิดความเพี้ยนของสัญญาณมาก
 - ค. มีประสิทธิภาพในการขยายกำลังค่อนข้างดี
 - ง. เมื่อไม่มีการป้อนสัญญาณจะไม่เกิดกำลังงานสูญเสียที่ทรานซิสเตอร์
 - จ. มีประสิทธิภาพกำลังของการขยาย 100%
 3. ทรานซิสเตอร์มีค่า $V_{CE} = 20 \text{ V}$ และ $I_C = 1.2 \text{ A}$ มีเทอร์มอลอิมพีแดนซ์ระหว่างรอยต่อ และตัวถัง 1.5°C/W จาก Data Sheet ของแผ่นระบายความร้อนควรเลือกใช้แผ่นระบายความร้อนซึ่งจะรักษาให้อุณหภูมิของรอยต่อไม่เกิน 90°C เมื่อมีอุณหภูมิแวดล้อม 25°C ที่มีค่าเทอร์มอลอิมพีแดนซ์ Case to Air เท่าใด
 - ก. 1.6°C/W
 - ข. 3.9°C/W
 - ค. 4.1°C/W
 - ง. 5.3°C/W
 - จ. 6.4°C/W

4. ข้อใดเป็นลักษณะของวงจรขยายกำลังคลาส AB ทรานส์ฟอเมอร์คัปเปิลได้

- ก. ทรานส์ฟอเมอร์จะมีผลตอบสนองทางด้านความถี่ต่ำและความถี่สูงดี
- ข. มีประสิทธิภาพการขยายมากกว่าวงจรขยายกำลังคลาส B
- ค. ใช้ทรานส์ฟอเมอร์เป็นตัวเชื่อมต่อที่ภาคเอาต์พุต
- ง. ใช้คาปาซิเตอร์เป็นตัวเชื่อมต่อที่ภาคเอาต์พุต
- จ. ใช้อินดักเตอร์เป็นตัวเชื่อมต่อที่ภาคเอาต์พุต

5. ข้อใดเป็นลักษณะของวงจรคอมพลิเมนต์ารี (Complimentary)

- ก. ใช้คาปาซิเตอร์เป็นตัวเชื่อมต่อที่ภาคเอาต์พุต
- ข. มีประสิทธิภาพการขยายมากกว่าวงจรขยายกำลังคลาส A
- ค. ใช้ทรานส์ฟอเมอร์ในการถ่ายทอดสัญญาณ
- ง. ใช้ทรานซิสเตอร์ NPN กับ PNP ทำงานร่วมกัน
- จ. ใช้เฟตชนิด N-Channel และ P-Channel ทำงานร่วมกัน

6. สมการหาค่าประสิทธิภาพสูงสุดของวงจรขยายกำลังคลาส B ตรงกับข้อใด

ก. $\% \eta = \frac{0.5V_{ECIp}}{0.636V_{CCIp}} \times 100\%$

ข. $\% \eta = \frac{0.5V_{CCIp}}{0.636V_{CCIp}} \times 100\%$

ค. $\% \eta = \frac{0.5V_{ECIp}}{V_{CCIp}} \times 100\%$

ง. $\% \eta = \frac{0.7V_{CCIp}}{0.707V_{CCIp}} \times 100\%$

จ. $\% \eta = \frac{V_{ECIp}}{V_{CCIp}} \times 100\%$

7. จงคำนวณหาประสิทธิภาพสูงสุดของวงจรขยายคลาส A เมื่อกำหนดให้กำลังเอาต์พุตที่ ทรานส์ฟอเมอร์มีค่าเท่ากับ $P_O (ac) = 26.6 \text{ mW}$ และกำลังทางด้านอินพุตมีค่าเท่ากับ $P_i (dc) = 131.4 \text{ mW}$

- ก. 18.32%
- ข. 19.11%
- ค. 19.69%
- ง. 20.24%
- จ. 21.53%

8. การออกแบบวงจรคอมพลิเมนต์ารี (Complimentary) ให้มีการทำงานคงที่ต่ออุณหภูมิของการทำงานมีวิธีการอย่างไร

- ก. ใส่วงจรไบอัสอัตโนมัติควบคู่กับแผ่นระบายความร้อน
- ข. ติดตั้งพัดลมระบายความร้อนให้กับแผ่นระบายความร้อน
- ค. ใช้แผ่นระบายความร้อนที่มีขนาดใหญ่
- ง. ใส่วงจรป้องกันความร้อนสูงเกิน
- จ. เลือกใช้วงจรขยายกำลังคลาส C

9. ข้อใดเป็นลักษณะของวงจรขยายกำลังคลาสดี

- ก. มีจุดการทำงานอยู่สูงสุดของเส้นโหลดไลน์
- ข. มีจุดการทำงานอยู่ต่ำกว่าเส้นโหลดไลน์
- ค. ใช้หลักการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแล้วนำไปขยาย
- ง. ขยายย่านความถี่สูงได้ดี
- จ. มีอัตราขยายกำลังต่ำความร้อนสูง

10. วงจรคอมพลิเมนต์ารี (Complimentary) แบบสมมาตรต้องใช้แหล่งจ่ายชนิดใด

- ก. แหล่งจ่ายไฟแบบเดียว
- ข. แหล่งจ่ายไฟแบบคู่
- ค. แหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้น
- ง. แหล่งจ่ายแบบปรับค่าได้
- จ. แหล่งจ่ายไฟแบบคงที่

หน่วยที่ 10

วงจรขยายกำลัง (Power Amplifiers)

เนื้อหาสาระ

วงจรขยายกำลังทำหน้าที่เป็นภาคเอาต์พุตจะต้องขับกำลังจำนวนมากได้และสามารถขับโหลดซึ่งมีอิมพีแดนซ์ต่ำอย่างเช่น ลำโพง พร้อมทั้งมีความเพี้ยนของสัญญาณเอาต์พุตจะต้องมีค่าต่ำด้วย โดยทั่วไปวงจรขยายกำลังจะแบ่งออกตามตำแหน่งจุดการทำงานที่เกิดขึ้นบนเส้น DC Load line ซึ่งเรียกว่า คลาส (Class) แบ่งออกได้ดังนี้

คลาส A คือ วงจรขยายที่มีการจ่ายไบอัสทรานซิสเตอร์ตลอด 1 ไซเคิล หรือ 1 คาบเวลา แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ แบบต่อโหลดโดยตรงซึ่งมีประสิทธิภาพกำลังของการขยาย 25% และแบบต่อโหลดกับหม้อแปลงซึ่งมีประสิทธิภาพกำลังของการขยาย 50%

คลาส B คือ วงจรขยายที่มีการจ่ายไบอัสทรานซิสเตอร์ครึ่งไซเคิลของสัญญาณมีประสิทธิภาพกำลังของการขยาย 78.5%

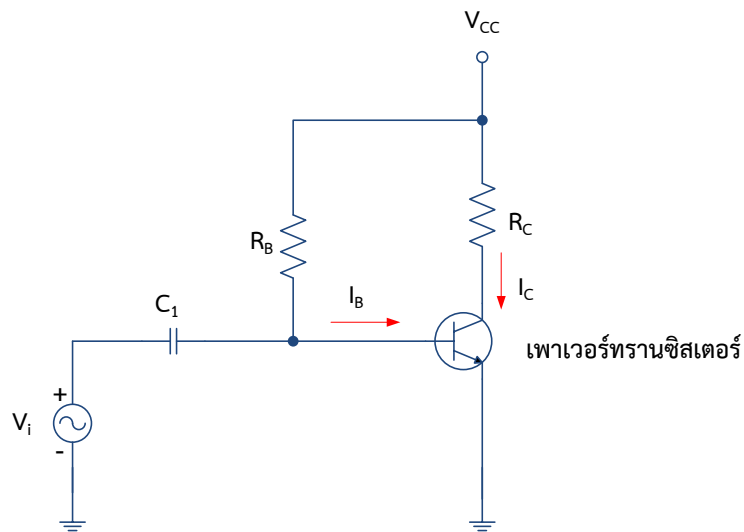
คลาส AB คือ วงจรขยายที่มีการจ่ายไบอัสทรานซิสเตอร์ระหว่างครึ่งไซเคิลกับเต็มไซเคิลหรือมากกว่าครึ่งไซเคิล แต่ไม่เกิน 1 ไซเคิล มีประสิทธิภาพกำลังของการขยาย 50%

คลาส C คือ วงจรขยายที่มีการจ่ายไบอัสทรานซิสเตอร์ต่ำกว่าครึ่งไซเคิล

คลาส D คือ วงจรขยายกำลังที่ใช้กับสัญญาณพัลส์ดิจิทัล โดยวงจรจะเปิด (On) เฉพาะสัญญาณช่วงสั้น และจะปิด (Off) เมื่อเกิดสัญญาณช่วงยาว มีประสิทธิภาพกำลังของการขยายสูงกว่า 90%

10.1 วงจรขยายกำลังคลาส A

วงจรขยายกำลังคลาส A เป็นวงจรขยายกำลังที่ให้ไบอัสทรานซิสเตอร์ที่กึ่งกลางของเส้นโหลด จึงไม่เกิดความเพี้ยนของสัญญาณ เมื่อไม่มีการป้อนสัญญาณจะเกิดกำลังงานสูญเสียที่ทรานซิสเตอร์เนื่องจากมีกระแสไหลผ่านทรานซิสเตอร์ตลอดเวลาทำให้ประสิทธิภาพในการขยายต่ำ



รูปที่ 10.1 วงจรขยายกำลังคลาส A

จากรูปที่ 10.1 เป็นวงจรไบอัสคงที่เมื่อจ่ายแรงดัน V_{CC} และ R_B หาค่ากระแส I_B ได้ดังนี้

$$I_B = \frac{V_{CC} - 0.7 \text{ V}}{R_B} \quad \dots 10.1$$

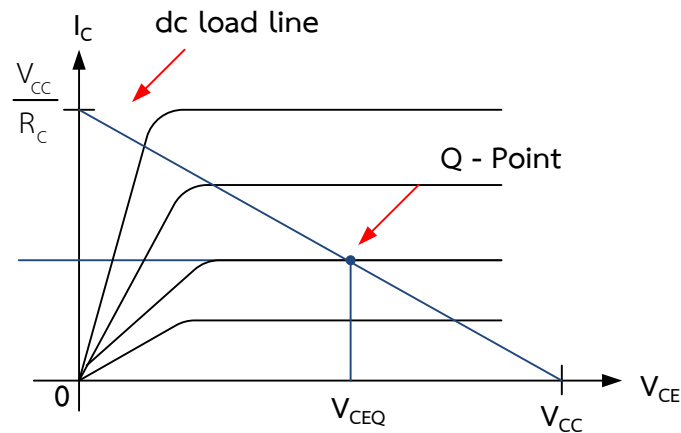
และกระแสคอลเลคเตอร์

$$I_C = \beta I_B \quad \dots 10.2$$

และแรงดันระหว่างขาคอลเลคเตอร์และอีมิเตอร์

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \quad \dots 10.3$$

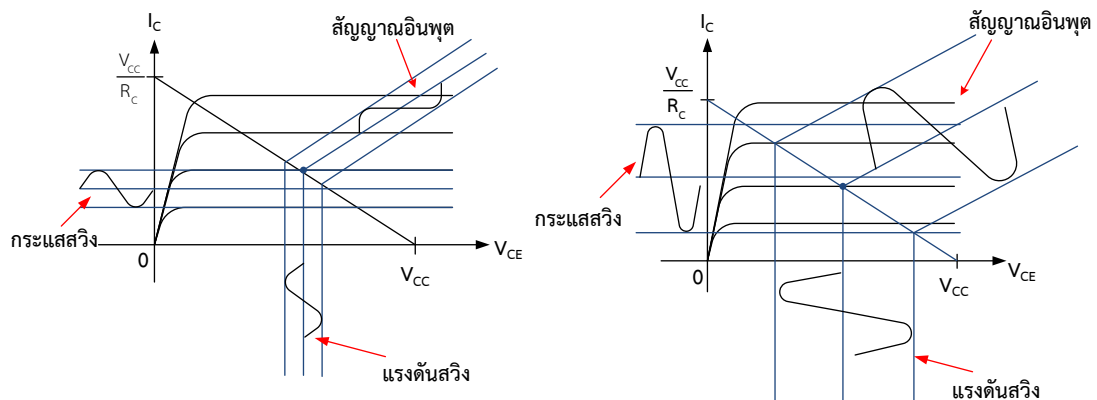
กราฟแสดงการทำงานทางด้านดีซีดังแสดงในรูปที่ 10.2 แสดงให้เห็นเส้นโหลดไลน์ที่เกิดขึ้นจากค่า V_{CC} และ R_C จุดตัดของเส้นโหลดไลน์กับเส้นกราฟของกระแส I_B จะเป็นจุดการทำงานของวงจร Q-Point



รูปที่ 10.2 กราฟแสดงการทำงานทางด้านดีซีและจุดการทำงานของวงจร Q-Point

ที่มา : Electronic Devices and Circuit Theory, 2009 หน้า 685

จากรูปที่ 10.3 เป็นกราฟแสดงการทำงานเมื่อได้รับสัญญาณ AC จากสัญญาณอินพุตให้กับวงจรขยายในรูปที่ 10.1 จะทำให้กระแส I_B เกิดการเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณอินพุต เป็นผลให้กระแสคอลเลคเตอร์ I_C และแรงดันระหว่างขาคอลเลคเตอร์และอิมิตเตอร์เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย



รูปที่ 10.3 กราฟแสดงการทำงานเมื่อได้รับสัญญาณจากอินพุตขยายออกเอาต์พุต

ที่มา : Electronic Devices and Circuit Theory, 2009 หน้า 860

กำลังขยายของวงจรขยายถูกจำกัดโดยแหล่งจ่ายแรงดัน เมื่อยังไม่มีสัญญาณอินพุตเข้ามา กระแสไฟตรงที่เกิดขึ้นคือ กระแส I_{CQ} ดังนั้นกำลังที่เกิดขึ้นโดยแหล่งจ่ายแรงดันคือ กำลังดีซีอินพุต

$$P_i(dc) = V_{CC} I_{CQ}$$

...10.4

กำลังเอาต์พุต

แรงดันและกระแสที่มีการเปลี่ยนแปลงรอบ ๆ จุดการไบอัสเป็นกำลังเอซีที่ส่งไปให้กับโหลด จากวงจรในรูปที่ 10.1 กำลังเอซีที่ส่งไปยังโหลด R_C สัญญาณเอซีทางด้านอินพุต V_i ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสเบสที่จุดไบอัสทางด้านดีซีและเกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสคอลเลคเตอร์ I_{CQ} ดังแสดงในรูปที่ 10.2 สัญญาณเอซีทางด้านอินพุตส่งผลให้เกิดสัญญาณเอซีของกระแสและแรงดัน สัญญาณทางด้านอินพุตทำให้เกิดการสวิงของสัญญาณขนาดใหญ่ทางด้านเอาต์พุตค่าสูงสุดของสัญญาณ ถูกกำหนดโดยลักษณะของวงจร กำลังเอซีที่ส่งไปยังโหลดสามารถอธิบายด้วยสมการดังนี้

$$P_o(ac) = V_{CE}(rms) I_C(rms) \quad \dots 10.5$$

$$P_o(ac) = I_C^2(rms) R_C \quad \dots 10.6$$

$$P_o(ac) = \frac{V_C^2(rms)}{R_C} \quad \dots 10.7$$

ประสิทธิภาพ

ประสิทธิภาพ (Efficiency) จะบอกถึงคุณสมบัติของวงจรขยายในการเปลี่ยนกำลังดีซีที่อินพุต ให้เป็นอัตราทกำลังเอซีที่โหลด

$$\% \eta = \frac{P_o(ac)}{P_i(dc)} \times 100\% \quad \dots 10.8$$

เมื่อ η คือ ประสิทธิภาพของวงจรขยาย มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)

$P_o(ac)$ คือ กำลังเอซีทางด้านเอาต์พุตที่โหลด มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

$P_i(dc)$ คือ กำลังดีซีทางด้านอินพุต มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

ค่าประสิทธิภาพสูงสุดของสำหรับคลาส A สามารถหาได้จากค่าการสวิงสูงสุดของแรงดันและกระแสได้ดังนี้

ค่าแรงดันสวิงสูงสุด

$$\text{maximum } V_{EC}(p-p) = V_{CC}$$

ค่ากระแสสวิงสูงสุด

$$\text{maximum } I_C(p-p) = \frac{V_{CC}}{R_C}$$

นำค่าแรงดันสวิงสูงสุดมาแทนค่าในสมการที่ 10.7

$$\text{maximum } P_o(ac) = \frac{V_{CC}(V_{CC}/R_C)}{8}$$

$$\text{maximum } P_o(\text{ac}) = \frac{V_{CC}^2}{8R_C}$$

กำลังทางด้านอินพุต

กำลังทางด้านอินพุตสามารถคำนวณหาได้จากกระแสไบอัสที่ครึ่งหนึ่งของค่ากระแสไบอัสสูงสุด

$$\text{maximum } P_i(\text{dc}) = V_{CC}(\text{maximum } I_C)$$

$$\text{maximum } P_i(\text{dc}) = V_{CC} \frac{V_{CC}/R_C}{2}$$

$$\text{maximum } P_i(\text{dc}) = \frac{V_{CC}^2}{2R_C}$$

ดังนั้นสามารถใช้สมการที่ 10.8 คำนวณหาค่าประสิทธิภาพสูงสุดได้ดังนี้

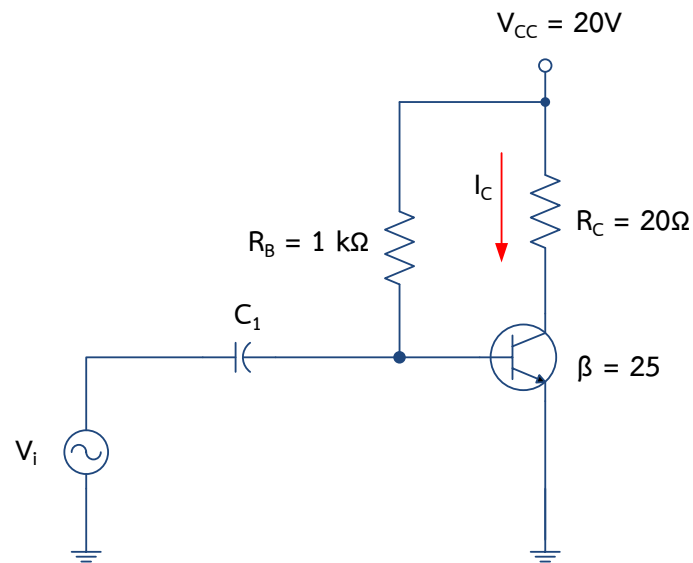
$$\text{maximum } \% \eta = \frac{\text{maximum } P_o(\text{ac})}{\text{maximum } P_i(\text{dc})} \times 100\%$$

$$\text{maximum } \% \eta = \frac{V_{CC}^2/8R_C}{V_{CC}^2/2R_C} \times 100\%$$

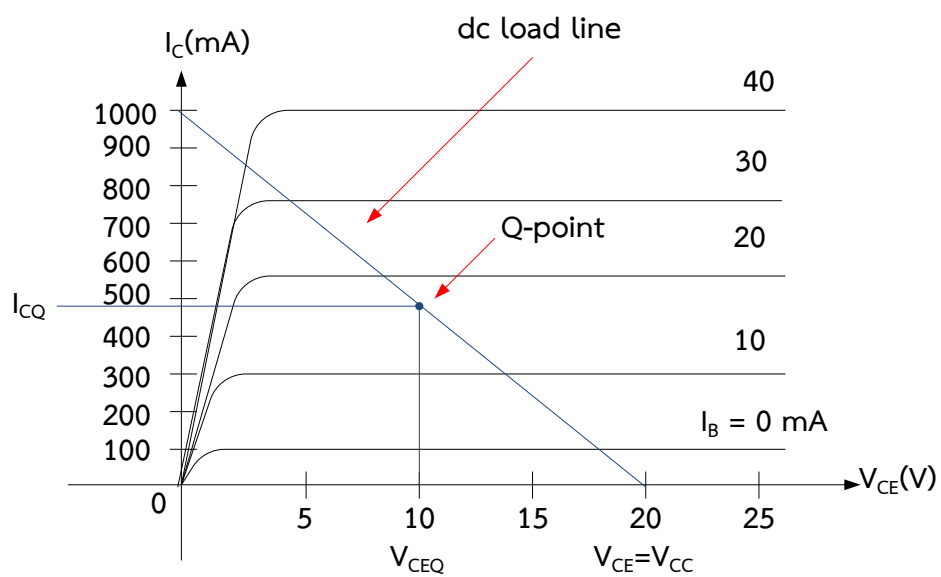
$$\text{maximum } \% \eta = 25\%$$

ค่าประสิทธิภาพสูงสุดของสำหรับคลาส A โดยทั่วไปจะมีค่าน้อยกว่า 25 %

ตัวอย่างที่ 10.1 จากวงจรขยายกำลังดังแสดงในรูปที่ 10.4 (ก) และรูปที่ 10.4 (ข) จงคำนวณหาค่ากำลังทางด้านอินพุต , กำลังทางด้านเอาต์พุตและค่าประสิทธิภาพของวงจรขยาย เมื่อแรงดันที่แหล่งจ่ายทำให้เกิดกระแสไบอัสสูงสุด 10 mA



(ก) วงจรขยายกำลัง



(ข) กราฟแสดงการทำงาน

รูปที่ 10.4 วงจรขยายกำลังคลาส A และกราฟแสดงการทำงาน

วิธีทำ จากสมการที่ 10.1 ถึงสมการที่ 10.3 หาค่าการทำงานที่จุด Q-Point ของวงจร
จากสมการที่ 10.1 หาค่ากระแส I_{BQ}

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - 0.7 \text{ V}}{R_B}$$

$$I_{BQ} = \frac{20 - 0.7 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega}$$

$$I_{BQ} = 19.3 \text{ mA}$$

จากสมการที่ 10.2 หาค่ากระแส I_{CQ}

$$I_{CQ} = \beta I_B$$

$$I_{CQ} = 25(19.3 \text{ mA})$$

$$I_{CQ} = 482.5 \text{ mA} \cong 0.48 \text{ A}$$

จากสมการที่ 10.3 หาค่ากระแสแรงดันระหว่างคอลเลคเตอร์และอิมิตเตอร์ V_{CEQ}

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_C R_C$$

$$V_{CEQ} = 20 \text{ V} - (0.48 \text{ A})(20 \text{ }\Omega)$$

$$V_{CEQ} = 10.4 \text{ V}$$

จากกราฟจุดการไบอัสของทรานซิสเตอร์ในรูปที่ 10.4 (ข) $V_{CE} = V_{CC} = 20 \text{ V}$ และ

$I_C = V_{CC} / R_C = 1000 \text{ mA} = 1 \text{ A}$ เมื่อมีสัญญาณทางด้านอินพุตป้อนเข้ามากระแสจะเพิ่มขึ้นจากจุดการไบอัสสามารถคำนวณหากระแสคอลเลคเตอร์ได้ดังนี้

$$I_C = \beta I_B(p)$$

$$I_C(p) = 25(10 \text{ mA peak})$$

$$I_C(p) = 250 \text{ mA peak}$$

จากสมการที่ 10.6 หาค่ากำลังทางด้านเอาต์พุต

$$P_o(ac) = I_C^2(rms) R_C$$

$$P_o(ac) = \frac{I_C^2(p)}{2} R_C$$

$$P_o(ac) = \frac{(250 \times 10^{-3} A)^2}{2} (20 \Omega)$$

$$P_o(ac) = 0.625 \text{ W}$$

ตอบ

จากสมการที่ 10.4 หาค่ากำลังทางด้านอินพุต

$$P_i(dc) = V_{CC} I_{CQ}$$

$$P_i(dc) = (20 \text{ V})(0.48 \text{ A})$$

$$P_i(dc) = 9.6 \text{ W}$$

ตอบ

ค่าประสิทธิภาพของวงจรขยายสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 10.8

$$\% \eta = \frac{P_o(ac)}{P_i(dc)} \times 100\%$$

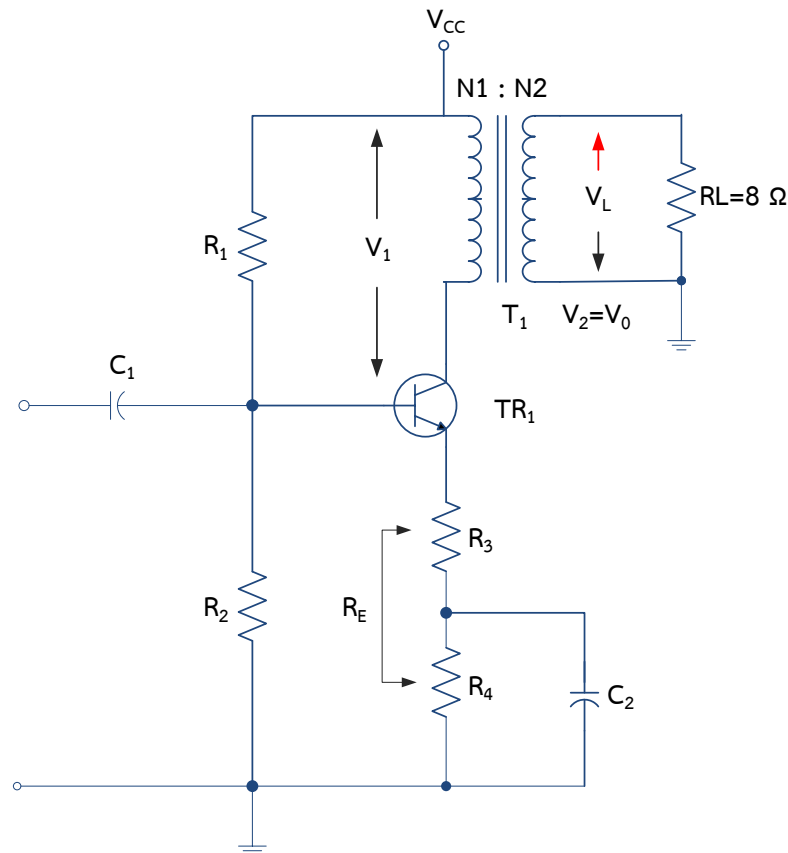
$$\% \eta = \frac{0.625 \text{ W}}{9.6 \text{ W}} \times 100\%$$

$$\% \eta = 6.5 \%$$

ตอบ

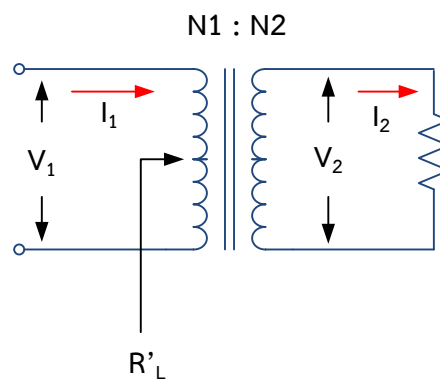
10.1.1 ทรานส์ฟอร์เมอร์คัปเปิล

การใช้ทรานส์ฟอร์เมอร์ในการถ่ายทอดสัญญาณเอซีระหว่างเอาต์พุตของวงจรขยายกำลังกับโหลด นอกจากนี้ทรานส์ฟอร์เมอร์ยังทำหน้าที่แยกแรงดันดีซีด้วย



รูปที่ 10.4 วงจรขยายกำลังคลาส A ใช้เอาต์พุตทรานส์ฟอร์มเมอร์เป็นตัวถ่ายทอดสัญญาณให้โหลด

วงจรขยายกำลังคลาส A ในรูปที่ 10.4 ใช้เอาต์พุตทรานส์ฟอร์มเมอร์เป็นตัวถ่ายทอดสัญญาณให้โหลด R_L เรียกว่า วงจรขยายทรานส์ฟอร์มเมอร์คัปเปิล ทรานส์ฟอร์มเมอร์รับการเปลี่ยนแปลงของ I_C และเหนี่ยวนำผ่านขดทุติยภูมิไปที่ R_L การจัดไบอัสวงจรเป็นแบบอิมิตเตอร์เคอร์เร็นต์ไบอัสโดยวงจรแบ่งแรงดัน R_1 และ R_2 เป็นไบอัสที่เบสของทรานซิสเตอร์ และตัวต้านทาน R_3 และ R_4 เป็นตัวกำหนดค่ากระแสอิมิตเตอร์ ซึ่ง R_3 ไม่มีตัวเก็บประจุบายพาสเพื่อใช้เป็นตัวป้อนกลับของสัญญาณเอซี



รูปที่ 10.5 ทรานส์ฟอร์มเมอร์คัปเปิลรีเฟคเตอร์

จากรูปที่ 10.5 พิจารณา N_1 คือจำนวนรอบของขดปฐมภูมิ และ N_2 คือจำนวนรอบของขดทุติยภูมิ V_1 และ I_1 คือแรงดันและกระแสที่ไหลในขดปฐมภูมิ ในขณะที่ V_2 และ I_2 เป็นแรงดันและกระแสที่ไหลในขดทุติยภูมิ ความต้านทานโหลด R_L คำนวณได้จาก

$$R_L = \frac{V_2}{I_2} \quad \dots 10.9$$

เมื่อ R_L คือ ความต้านทานโหลด	มีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω)
V_2 คือ แรงดันที่ขดขดทุติยภูมิ	มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)
I_2 คือ กระแสที่ไหลในขดขดทุติยภูมิ	มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)

ความต้านทานโหลดเอชี่ที่ขดปฐมภูมิ คือ R'_L จะคำนวณได้จาก

$$R'_L = \frac{V_1}{I_1} \quad \dots 10.10$$

เมื่อ R'_L คือ ความต้านทานโหลดเอชี่ที่ขดปฐมภูมิ	มีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω)
V_1 คือ แรงดันที่ขดปฐมภูมิ	มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)
I_1 คือ กระแสที่ไหลในขดปฐมภูมิ	มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)

จากทฤษฎีเบื้องต้นของทรานส์ฟอร์มเมอร์

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad \dots 10.11$$

$$V_1 = \frac{N_1}{N_2} \times V_2$$

และ

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \quad \dots 10.12$$

$$I_1 = \frac{N_2}{N_1} \times I_2$$

เมื่อแทนค่า V_1 และ I_1 ลงในสมการของ R'_L ในสมการที่ 10.10 จะได้

$$R'_L = \frac{\frac{N_1}{N_2} \times V_2}{\frac{N_2}{N_1} \times I_2}$$

$$R'_L = \frac{\frac{N_1 V_2}{N_2}}{\frac{N_2 I_2}{N_1}}$$

$$R'_L = \frac{N_1 V_2}{N_2} \times \frac{N_1}{N_2 I_2}$$

$$R'_L = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \times \frac{V_2}{I_2}$$

$$R'_L = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \times R_L$$

...10.13

ความต้านทานที่ขดปฐมภูมิคือ R'_L ซึ่ง R'_L จะพบในเทอมค่าความต้านทานโหลดเมื่อพิจารณาที่ขดปฐมภูมิ

โหลดดีซีที่ต่ออนุกรมกับทรานซิสเตอร์จะเป็นผลรวมของตัวต้านทานที่ขั้วอิมิตเตอร์และค่าความต้านทานที่ขดปฐมภูมิของทรานสฟอร์เมอร์ ดังนั้น

$$R_{L(dc)} = R_{PY} + R_3 + R_4$$

...10.14

เมื่อ $R_{L(dc)}$ คือ ความต้านทานโหลดดีซีที่ต่ออนุกรมกับทรานซิสเตอร์ มีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω)

R_{PY} คือ ค่าความต้านทานที่ขดปฐมภูมิของทรานสฟอร์เมอร์ มีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω)

R_3 คือ ค่าตัวต้านทานที่ขั้วอิมิตเตอร์ มีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω)

R_4 คือ ค่าตัวต้านทานที่ขั้วอิมิตเตอร์ มีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω)

และโหลดเอซีทั้งหมดคือผลรวมของรีเฟลคโหลด R'_L ซึ่งเป็นความต้านทานของขดปฏุมุขและตัวต้านทานอิมิตเตอร์ R_3 เพราะไม่มีการต่อตัวเก็บประจุบายพาสส์ R_3 จะมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับ R'_L ดังนั้น

$$R_{L(ac)} = R_{PY} + R'_L$$

...10.15

เมื่อ $R_{L(ac)}$ คือ ความต้านทานโหลดเอซี มีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω)
 R_{PY} คือ ค่าความต้านทานที่ขดปฏุมุขของทรานสฟอร์เมอร์ มีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω)
 R'_L คือ ความต้านทานโหลดเอซีที่ขดปฏุมุข มีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω)

การหาค่าประสิทธิภาพของวงจรขยายกำลังคลาส A จากสมการที่ 10.8

$$\% \eta = \frac{P_o(ac)}{P_i(dc)} \times 100\%$$

ถ้ากำลังอินพุตจากสมการที่ 10.4

$$P_i(dc) = V_{CC} I_{CQ}$$

วงจรขยายกำลังคลาส A ถ้า $V_E \ll V_{CC}$ และ V_{CEQ} จะมีค่าประมาณเท่ากับ V_{CC} ดังนั้นค่าแรงดันสูงสุด (Peak) ที่ขดปฏุมุขจะมีค่าประมาณ $(\pm V_{CC})$ เมื่อทรานซิสเตอร์ถูกไบอัสให้ทำงานที่จุดคัตออฟและจุดอิ่มตัว ดังนั้นกระแสสูงสุด (Peak) ที่ทรานสฟอร์เมอร์จะมีค่าเท่ากับ $(\pm I_{CQ})$ กำลังเอซีสูงสุดจะถูกส่งไปที่ขดปฏุมุขของทรานสฟอร์เมอร์ $P_o(ac)$ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$P_o(ac) = V_{rms} \times I_{rms}$$

$$P_o(ac) = \frac{V_p}{\sqrt{2}} \times \frac{I_p}{\sqrt{2}}$$

$$P_o(ac) = \frac{V_p I_p}{2}$$

...10.16

ถ้ากำหนดให้ทรานส์ฟอเมอร์มีประสิทธิภาพ 100 % และกำหนดให้ค่าแรงดันและกระแสมีค่าสูงสุด ดังนั้นจะได้ว่า

$$P_o(ac) = \frac{V_{CC}I_{CQ}}{2}$$

$$P_o(ac) = 0.5 \times V_{CC}I_{CQ}$$

$$P_o(ac) = 0.5 \times V_{CC}I_{CQ}$$

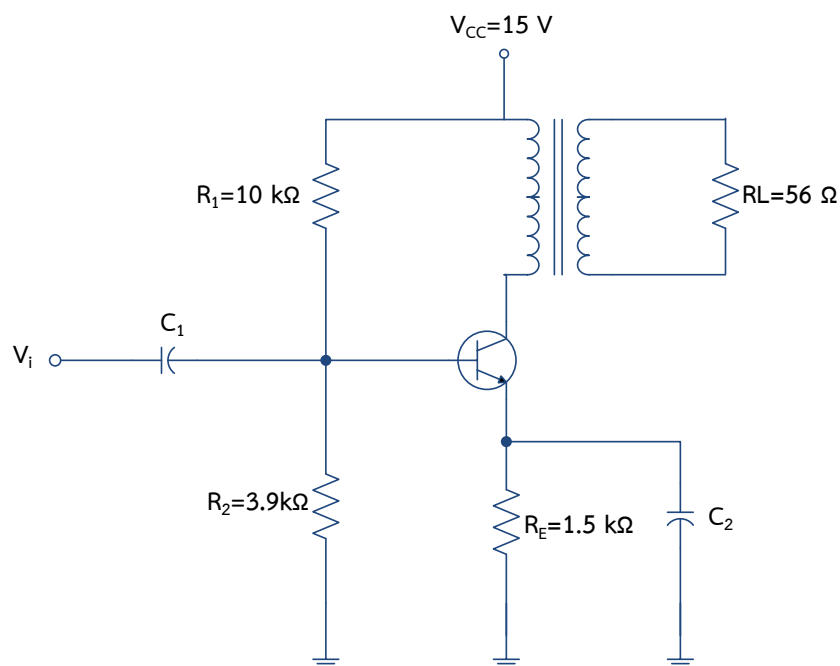
ประสิทธิภาพของวงจรขยายกำลังคลาส A จะมีค่าเท่ากับ

$$\% \eta = \frac{P_o(ac)}{P_i(dc)} \times 100\%$$

$$\% \eta = \frac{0.5 \times V_{CC}I_{CQ}}{V_{CC}I_{CQ}} \times 100\%$$

$$\% \eta = 50\%$$

วงจรขยายกำลังคลาส A จะมีประสิทธิภาพการขยายจะมีค่าสูงสุดประมาณ 50 % ดังนั้นเมื่อมีอัตราส่วนกำลังเกิดขึ้นในตัวต้านทานอิมิตเตอร์และทรานส์ฟอเมอร์แล้ว ประสิทธิภาพของวงจรขยายกำลังคลาส A โดยทั่วไปจะมีค่าน้อยกว่า 25 %



รูปที่ 10.6 วงจรขยายกำลังคลาส A ใช้เอาต์พุตทรานส์ฟอเมอร์เป็นตัวถ่ายทอดสัญญาณให้โหลด

ตัวอย่างที่ 10.2 จากรูปที่ 10.6 กำหนดให้ทรานส์ฟอเมอร์มีประสิทธิภาพ 75% โดยกำหนดรายละเอียดทรานส์ฟอเมอร์ T_1 มีค่าความต้านทาน $R_{PY}=40\ \Omega$, $N_1=74$ และ $N_2=14$ จงคำนวณหาค่าประสิทธิภาพสูงสุดของวงจรขยายคลาส A

วิธีทำ คำนวณหาค่าดีซีไบอัสของวงจร

คำนวณหาค่า V_B

$$V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC}$$

$$V_B = \frac{3.9\text{ k}\Omega}{10\text{ k}\Omega + 3.9\text{ k}\Omega} \times 15\text{ V}$$

$$V_B = 4.2\text{ V}$$

คำนวณหาค่า V_E

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

$$V_E = 4.2\text{ V} - 0.7\text{ V}$$

$$V_E = 3.5\text{ V}$$

คำนวณหาค่า I_E

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

$$I_E = \frac{3.5\text{ V}}{1.5\text{ k}\Omega}$$

$$I_E = 2.33\text{ mA}$$

$$I_C = I_E = 2.33\text{ mA}$$

กำลังทางด้านอินพุต

$$P_i(\text{dc}) = V_{CC} I_{CQ}$$

$$P_i(\text{dc}) = 15\text{ V} \times 2.33\text{ mA}$$

$$P_i(\text{dc}) = 34.95\text{ mW}$$

คำนวณหาค่า V_{CE}

$$V_{CC} = I_C(R_{PY} + R_E) + V_{CE}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_{PY} + R_E)$$

$$V_{CE} = 15 \text{ V} - 2.33 \text{ mA}(40 \text{ } \Omega + 1.5 \text{ k}\Omega)$$

$$V_{CE} = 11.41$$

ดังนั้น

$$V_P = V_{CEQ} = 11.41 \text{ V}$$

$$I_P = I_{CQ} = 2.33 \text{ mA}$$

กำลังที่ขดปฐมภูมิของทรานส์ฟอร์มเมอร์คำนวณจากสมการที่ 10.16

$$P'_o(ac) = \frac{V_P I_P}{2}$$

$$P'_o(ac) = \frac{11.41 \text{ V} \times 2.33 \text{ mA}}{2}$$

$$P'_o(ac) = 13.29 \text{ mW}$$

กำลังเอาต์พุตที่ทรานส์ฟอร์มเมอร์เมื่อกำหนดให้ทรานส์ฟอร์มเมอร์มีประสิทธิภาพ 75 % จะได้ว่า

$$P_o(ac) = P'_o(ac) \times 75\%$$

$$P_o(ac) = 13.29 \text{ mW} \times 0.75$$

$$P_o(ac) = 9.96 \text{ mW}$$

ค่าประสิทธิภาพสูงสุดของวงจรขยายกำลังคลาส A จากสมการที่ 10.8

$$\% \eta = \frac{P_o(ac)}{P_i(dc)} \times 100\%$$

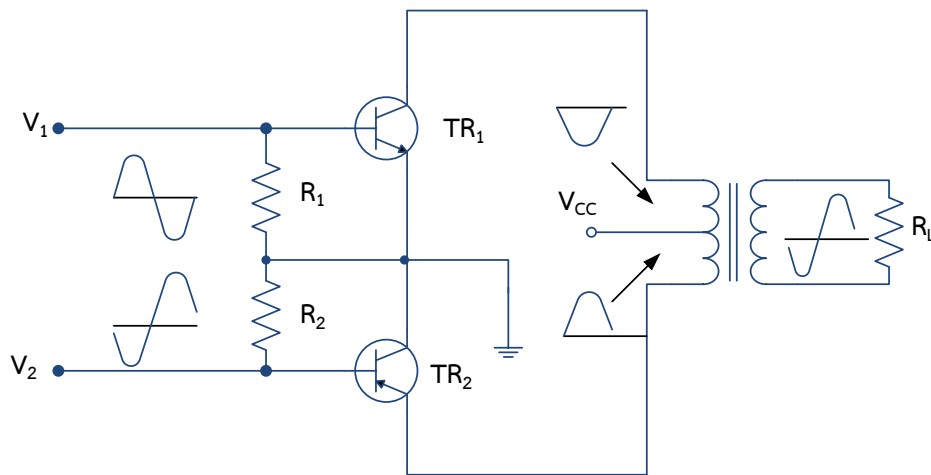
$$\% \eta = \frac{9.96 \text{ mW}}{34.95 \text{ mW}} \times 100\%$$

$$\% \eta = 28.5\%$$

ตอบ

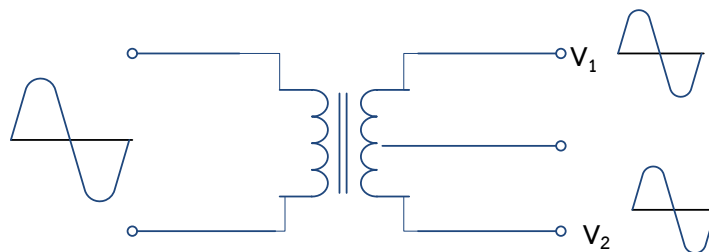
10.2 วงจรขยายกำลังคลาส B

การไบอัสทรานซิสเตอร์ของวงจรขยายกำลังคลาส A เป็นคลาสที่มีประสิทธิภาพในการขยายต่ำ เนื่องจากเกิดกำลังงานสูญเสียที่ทรานซิสเตอร์ ถึงแม้ว่าจะไม่มีการป้อนสัญญาณที่อินพุตก็ตาม ดังนั้นเราแก้ปัญหานี้โดยกำหนดให้ทรานซิสเตอร์ทำงานที่จุด คัตออฟ เรียกการขยายนี้ว่า วงจรขยายกำลังคลาส B การให้ไบอัสทรานซิสเตอร์ที่จุดคัตออฟ ทำให้ไม่มีกระแสไหลที่ทรานซิสเตอร์เมื่อยังไม่ป้อนสัญญาณอินพุต จึงไม่เกิดกำลังงานสูญเสียที่ทรานซิสเตอร์ วงจรขยายกำลังคลาส B มีประสิทธิภาพมากกว่า วงจรขยายกำลังคลาส A



รูปที่ 10.7 วงจรขยายกำลังคลาส B

จากรูปที่ 10.7 เป็นวงจรขยายกำลังคลาส B เบื้องต้นทรานส์ฟอเมอร์ T_1 จะทำการถ่ายทอดสัญญาณจากขั้วคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ TR_1 กับ TR_2 ไปที่ขดทุติยภูมิ ที่ขดปฐมภูมิจะมีเซ็นเตอร์แทปซึ่งต่อกับแหล่งจ่ายแรงดันดีซี (V_{CC}) และขั้วอิมิตเตอร์ของ TR_1 และ TR_2 ต่อดึงกราวด์ และ R_1 และ R_2 ซึ่งต่อที่เบสลงกราวด์ ทำให้เบสไม่ได้รับไบอัสทรานซิสเตอร์ไม่นำกระแส

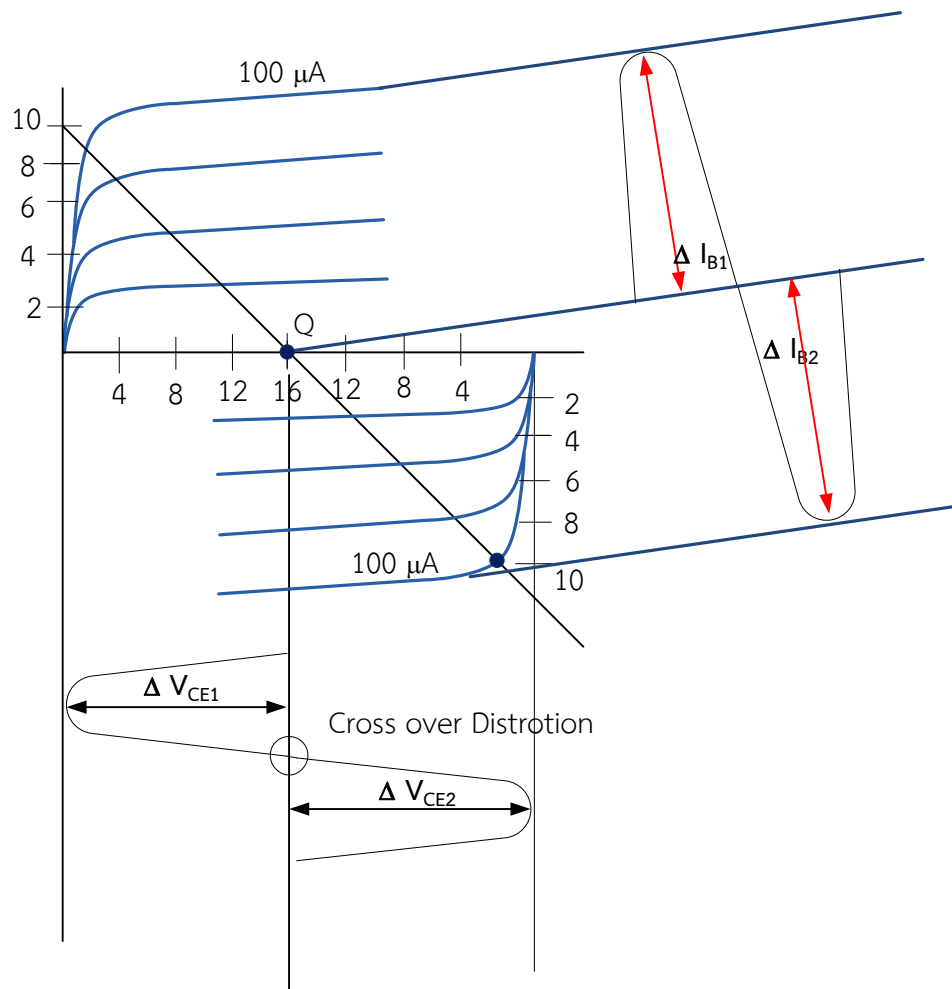


รูปที่ 10.8 การจัดเฟสสัญญาณ

สัญญาณอินพุตที่ผ่านการจัดเฟสแล้วแสดงดังรูปที่ 10.8 ถูกป้อนที่เบสของทรานซิสเตอร์ ซึ่งเฟสของสัญญาณอินพุตที่ป้อนจะต่างเฟสกัน 180 องศา ดังนั้นเมื่อ V_1 เป็นสัญญาณในไซเคิลบวก V_2 จะเป็นสัญญาณในไซเคิลลบซึ่งจะทำให้ TR_2 ไม่ทำงาน ในขณะที่ TR_1 ทำงานจึงทำให้กระแสคอลเลคเตอร์ ของ TR_1 มีค่าเพิ่มขึ้น เกิดสัญญาณไซน์ครึ่งไซเคิลในรูปของแรงดันตกคร่อมที่ขดปฐมภูมิด้านบนของทรานส์ฟอเมอร์ เมื่อสัญญาณในครึ่งไซเคิลบวกที่เบสของ TR_1 เปลี่ยนแปลงเป็นครึ่งไซเคิล

ลบและเบสของ TR_2 จะเป็นบวก ทำให้ TR_1 ไม่นำกระแสและ TR_2 ทำงานจึงทำให้เกิดสัญญาณไซน์ครึ่งไซเกิลตกรวมที่ขดปฐุมมิต้านล่างของทรานสฟอร์เมอร์

สัญญาณไซน์แต่ละครึ่งไซเกิลที่ตกคร่อมขดปฐุมมิต จะเหนี่ยวนำไปที่ขดทุติยภูมิทำให้เกิดสัญญาณไซน์ที่ขดทุติยภูมิทั้งไซเกิลบวกและไซเกิลลบป้อนที่โหลด R_L



รูปที่ 10.9 กราฟเส้นโหลดคุณลักษณะของวงจรขยายกำลังคลาส B ใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัว

ที่มา : www.neutron.rmutphysics.com/physicsboard/forum/index.php

วงจรขยายกำลังคลาส B ใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัวต่อวงจรแบบพุช-พูล (Push-Pull) การทำงานแสดงได้โดยการเขียนเส้นโหลดบนกราฟคุณลักษณะของวงจรได้ดังแสดงในรูปที่ 10.9

เมื่อป้อนสัญญาณอินพุตที่เบส TR_1 และ TR_2 เมื่อกระแสเบส TR_1 มีค่าเพิ่มจาก 0 เป็น $100 \mu A$ TR_2 ยังคงไม่ทำงานขณะที่ TR_1 ทำงานและ V_{CE1} จะมีค่าลดลงเหลือประมาณ 1 V ที่จุดนี้ แรงดันที่ตกคร่อมที่ขดปฐุมมิต้านบนทรานสฟอร์เมอร์ในรูปที่ 10.9 คือ

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

$$V_{RL}=16\text{ V}-1\text{ V}$$

$$V_{RL}=15\text{ V}$$

เมื่อกระแสเบสของ TR_2 มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น $100\text{ }\mu\text{A}$ TR_1 จะไม่ทำงานและ TR_2 จะทำงานแรงดันตกคร่อมที่ขดปฐมภูมิด้านล่างของทรานส์ฟอเมอร์ 15 V

ประสิทธิภาพของวงจรขยายกำลังคลาส B

เมื่อไม่มีสัญญาณอินพุตทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวจะไม่ทำงาน ทำให้มีกำลังสูญเสียเป็นศูนย์และเมื่อมีสัญญาณไซน์ตกคร่อมที่ขดปฐมภูมิของทรานส์ฟอเมอร์ (ป้อนสัญญาณทางด้านอินพุต) ทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานนำกระแส การทำงานแบบนี้จะทำให้สิ้นเปลืองกำลังน้อยกว่าวงจรขยายกำลังคลาส A

ในวงจรขยายกำลังคลาส B กำลังดีซีอินพุตคือ

$$P_i(\text{dc})=V_{CC}I_{\text{ave}}$$

$$P_i(\text{dc})=V_{CC}(0.636I_p) \quad \dots 10.17$$

กำลังเอซีที่ขดปฐมภูมิของทรานส์ฟอเมอร์ (P_o')

$$P_o' = \frac{V_p I_p}{2} \quad \dots 10.18$$

$$P_o' \cong \frac{V_{CC} I_p}{2} \quad \dots 10.19$$

ถ้าให้ประสิทธิภาพของเอาต์พุตทรานส์ฟอเมอร์ 100%

$$P_o(\text{ac})=0.5V_{CC}I_p$$

และประสิทธิภาพสูงสุดในการขยายกำลังคลาส B คำนวณได้ดังนี้

$$\% \eta = \frac{P_o(\text{ac})}{P_i(\text{dc})} \times 100\%$$

$$\% \eta = \frac{0.5V_{CC}I_P}{V_{CC}(0.636I_P)} \times 100\%$$

$$\% \eta = \frac{0.5V_{CC}I_P}{0.636V_{CC}I_P} \times 100\%$$

$$\% \eta = 78.6 \%$$

กำลังที่ขดปฐมภูมิของเอาต์พุตทรานส์ฟอร์มเมอร์คือ P'_O ใช้สำหรับหาค่าเอาต์พุตเพาเวอร์และประสิทธิภาพของเอาต์พุตทรานส์ฟอร์มเมอร์

$$P'_O = \frac{P_O}{\eta} \quad \dots 10.20$$

กำลังที่ขดปฐมภูมิจะหาได้จาก

$$P'_O = \frac{(V_{rms})^2}{R'_L} \quad \dots 10.21$$

เมื่อ P'_O คือ กำลังที่ขดปฐมภูมิของเอาต์พุตทรานส์ฟอร์มเมอร์ มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

V_{rms} คือ แรงดันที่ขดปฐมภูมิ มีหน่วยเป็นโวลต์อาร์เอ็มเอส (V_{rms})

R'_L คือ เอซิมพีแดนซ์ของขดปฐมภูมิของทรานส์ฟอร์มเมอร์ มีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω)

และเมื่อใช้ค่าแรงดันพีก (Peak) สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$P'_O = \frac{(V_P/2)^2}{R'_L}$$

$$P'_O = \frac{(V_P)^2}{4R'_L}$$

$$R'_L = \frac{(V_P)^2}{4P'_O} \quad \dots 10.22$$

R'_L สามารถคำนวณในโหลดความต้านทาน R_L และอัตราส่วนของขดทรานส์ฟอร์มเมอร์ได้ดังนี้

$$R'_L = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \times R_L$$

...10.23

อิมพีแดนซ์ที่มองเข้าไปที่ขดเส้นเตอร์แทปของทรานส์ฟอร์เมอร์ จะได้

$$R''_L = \left(\frac{2N_1}{N_2} \right)^2 \times R_L$$

$$R''_L = 4 \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \times R_L$$

...10.24

หรือ

$$R''_L = 4R'_L$$

...10.25

จากรูปที่ 10.7 จะเห็นว่าเมื่อ TR_1 หยุดนำกระแส และ TR_2 นำกระแส แรงดันที่มีค่าสูงสุดจะมีค่าประมาณ $+V_{CC}$ จะเหนี่ยวนำที่ขดปฐมภูมิที่ต่อกับ TR_1 การเหนี่ยวนำของแรงดันจะขึ้นอยู่กับแหล่งจ่ายแรงดัน ดังนั้นแรงดันที่คอลเลคเตอร์ของ TR_1 ก็คือ

$$V_{CE}(\text{maximum}) = +V_{CC} + V_{CC}$$

...10.26

$$V_{CE}(\text{maximum}) = 2V_{CC}$$

การหาค่ากระแสพีก (Peak) ที่ไหลผ่านทรานซิสเตอร์ จะหาได้ดังนี้

$$I_P = I_C(\text{maximum}) = \frac{2P'_O}{V_P}$$

...10.27

ตัวอย่างที่ 10.3 วงจรขยายกำลังคลาส B ทรานส์ฟอร์เมอร์คัปเปิลมีกำลัง 10 วัตต์ที่โหลด $16 \, \Omega$ และแหล่งจ่ายแรงดัน $V_{CC} = 48 \, V$ จงคำนวณหาคุณสมบัติของเอาต์พุตทรานส์ฟอร์เมอร์และ เอาต์พุตทรานซิสเตอร์ ถ้ากำหนดให้ทรานส์ฟอร์เมอร์มีประสิทธิภาพ 80 %

วิธีทำ หาค่ากำลังที่ขดปฐมภูมิของทรานส์ฟอร์เมอร์ (P'_O) ได้จากสมการที่ 10.20

$$P_o' = \frac{P_o}{\eta}$$

$$P_o' = \frac{10 \text{ W}}{0.8}$$

$$P_o' = 12.5 \text{ W}$$

หาค่าแอมพลิจูดพีคตอปรวม (R_L') ได้จากสมการที่ 10.22

$$R_L' = \frac{(V_p)^2}{2P_o'}$$

$$R_L' = \frac{(48 \text{ V})^2}{2(12.5 \text{ W})}$$

$$R_L' = 92.16 \text{ } \Omega$$

หาค่าอิมพีแดนซ์ที่เซ็นเตอร์แท็ปของทรานส์ฟอร์มเมอร์ (R_L'') ได้จากสมการที่ 10.25

$$R_L'' = 4R_L'$$

$$R_L'' = 4(92.16 \text{ } \Omega)$$

$$R_L'' = 368.64 \text{ } \Omega$$

กำลังที่เอาต์พุตทรานส์ฟอร์มเมอร์คือ P_o = 10 W, ความต้านทานโหลดคือ R_L = 16 Ω และความต้านทานที่ขดทุติยภูมิคือ R_L' = 368.64 Ω ที่ขดเซ็นเตอร์แท็ป ตอบ

คำนวณหาค่าแรงดันตกคร่อมทรานซิสเตอร์สูงสุด จากสมการที่ 10.26

$$V_{CE}(\text{maximum}) = 2V_{CC}$$

$$V_{CE}(\text{maximum}) = 2(48 \text{ V})$$

$$V_{CE}(\text{maximum}) = 96 \text{ V}$$

และค่ากระแสสูงสุดจากสมการที่ 10.27

$$I_p = I_C(\text{maximum}) = \frac{2P_o'}{V_p}$$

$$I_p = I_C(\text{maximum}) = \frac{2(12.5 \text{ W})}{48 \text{ V}}$$

$$I_p = I_C(\text{maximum}) = 520 \text{ mA}$$

กำลังดีซีที่อินพุต ได้จากสมการที่ 10.17

$$P_i(\text{dc}) = V_{CC}(0.636I_p)$$

$$P_i(\text{dc}) = (48 \text{ V})(0.636)(520 \text{ mA})$$

$$P_i(\text{dc}) = 15.87 \text{ W}$$

ดังนั้นอัตราทงกำลังที่เอาต์พุตทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวคือ

$$2P_T = P_i(\text{dc}) - P_o$$

$$2P_T = 15.87 \text{ W} - 12.5 \text{ W}$$

$$2P_T = 3.37 \text{ W}$$

และอัตราทงกำลังของทรานซิสเตอร์แต่ละตัวคือ

$$P_T = \frac{1.68 \text{ W}}{2}$$

$$P_T = 1.68 \text{ W}$$

ดังนั้น คุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ คือ ทรานซิสเตอร์มีค่าทงกำลัง $P_T = 1.68 \text{ W}$,

$$V_{CE}(\text{maximum}) = 96 \text{ V}, I_p = I_C(\text{maximum}) = 520 \text{ mA}$$

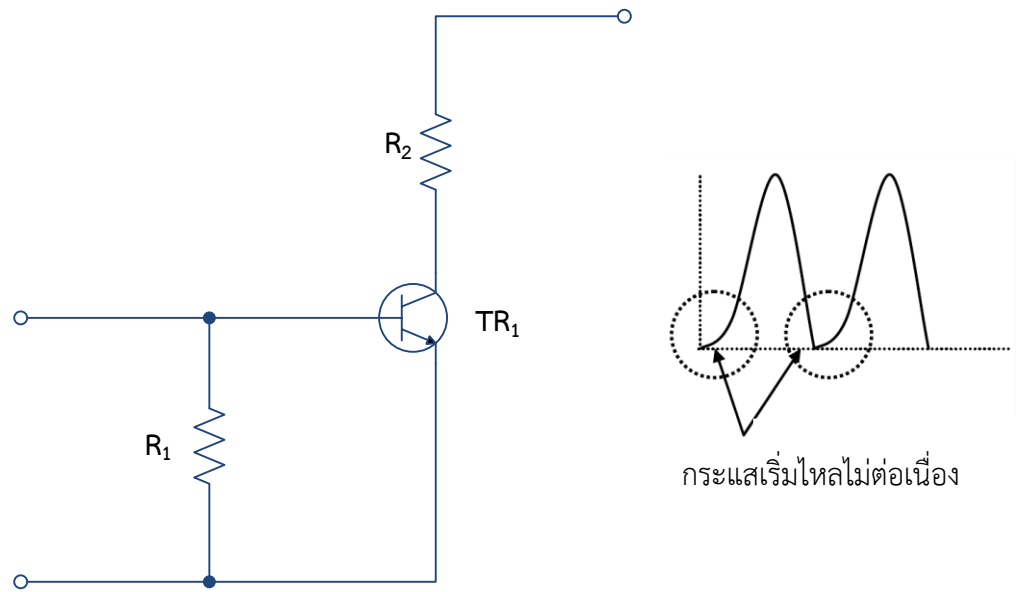
ตอบ

10.3 วงจรขยายกำลังคลาส AB

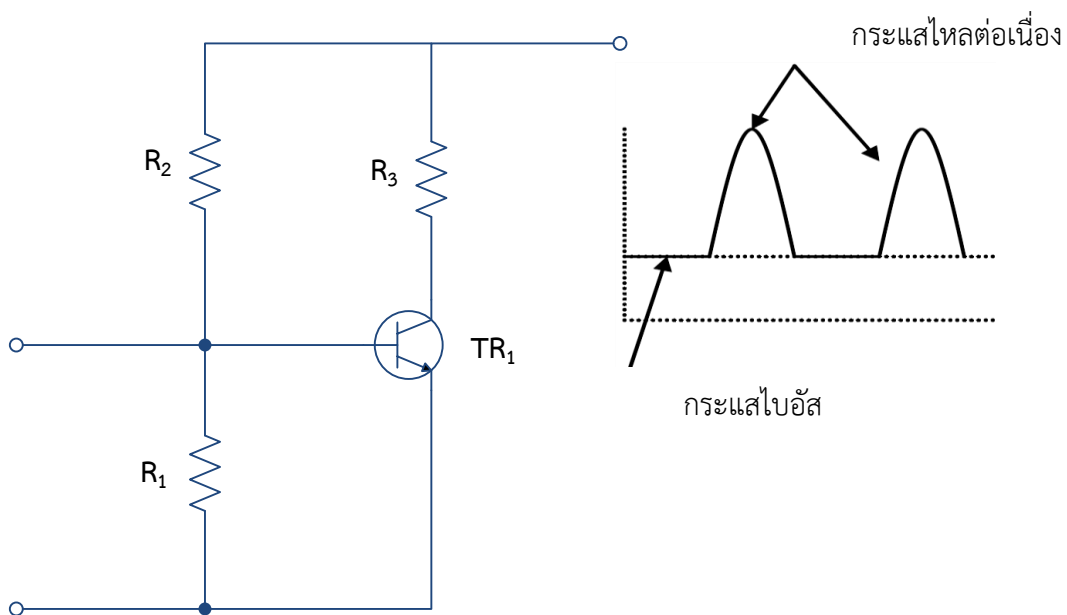
สัญญาณที่ขดปฐมภูมิจะถูกเหนี่ยวนำไปที่เอาต์พุตของวงจรขยายกำลังคลาส B จะไม่เป็นรูปร่างของสัญญาณไซน์ที่สมบูรณ์เนื่องจากเกิดความเพี้ยนของสัญญาณที่รอยต่อเรียกว่าครอสโอเวอร์ดิสตอร์ชัน (Cross Over Distortion) เนื่องจากทรานซิสเตอร์ยังไม่นำกระแสจนกว่าสัญญาณอินพุตจะทำให้แรงดันระหว่างเบสกับอิมิตเตอร์มีค่าประมาณ 0.7 V จะยังคงทำให้ทรานซิสเตอร์ไม่นำกระแสจนกว่าแรงดันอินพุตมีค่ามากกว่านี้จึงจะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานนำกระแสได้ ดังนั้นจึงมีการดัดแปลงวงจรให้เป็นวงจรขยายกำลังคลาส AB

การเกิดครอสโอเวอร์ดิสตอร์ชันและการแก้ไข

ครอสโอเวอร์ดิสตอร์ชันเกิดขึ้นเนื่องจากการทำงานของทรานซิสเตอร์เมื่อทรานซิสเตอร์ได้รับแรงดันไบอัสที่ยังไม่สามารถทำงานได้ ส่งผลให้จะไม่มีการนำกระแสในวงจรเมื่อมีสัญญาณอินพุตที่เบสของทรานซิสเตอร์เป็นบวกช่วงที่แรงดันอินพุตต่ำกว่า 0.7 V ทรานซิสเตอร์จะนำกระแสได้ตามรูปที่ 10.10 เมื่อแรงดันอินพุตมีค่ามากกว่า 0.7 V ทรานซิสเตอร์จึงจะนำกระแสได้เต็มที่



รูปที่ 10.10 การนำกระแสของทรานซิสเตอร์เมื่อไม่มีแรงดันไบอัสที่เบส



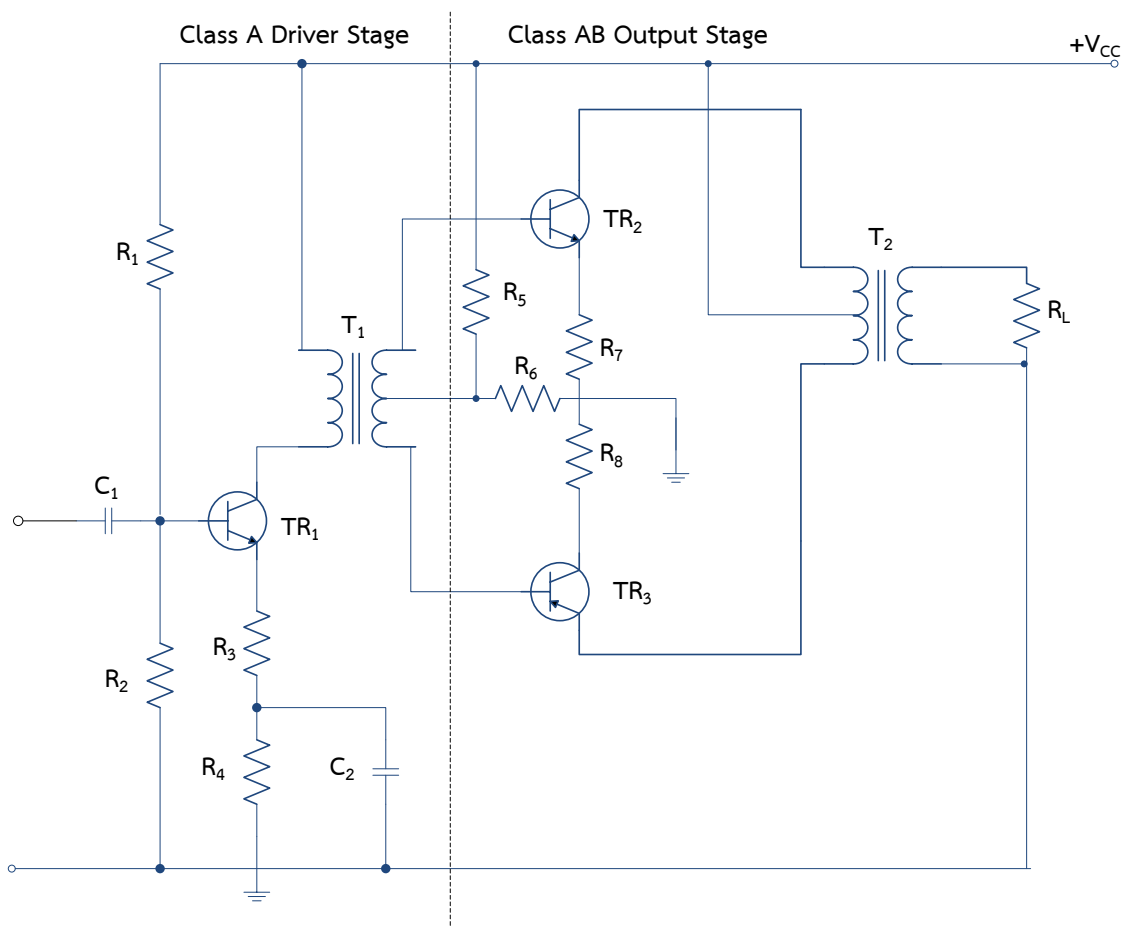
รูปที่ 10.11 การนำกระแสของทรานซิสเตอร์เมื่อมีแรงดันไบอัสที่เบส

เมื่อมีการไบอัสที่เบสของทรานซิสเตอร์มีค่าสูงกว่า 0.7 V ดังแสดงในรูปที่ 10.11 จะเกิดกระแสไหลผ่านทรานซิสเตอร์ตลอดเวลา (การไบอัสจะต้องทำให้กระแสไหลผ่านช่วงไม่เป็นเชิงเส้นของกราฟคุณลักษณะทางอินพุต) เมื่อป้อนแรงดันสัญญาณที่เบสเป็นบวกทรานซิสเตอร์จะนำกระแสเพิ่มขึ้นจากเดิม (ซึ่งทรานซิสเตอร์นำกระแสผ่านช่วงเชิงเส้น) และแรงดันสัญญาณที่เบสเป็นลบทรานซิสเตอร์จะนำกระแสเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

วงจรขยายกำลังคลาส AB ใช้ทรานส์ฟอเมอร์เป็นตัวเชื่อมต่อที่ภาคเอาต์พุตดังแสดงในรูปที่ 10.12 วงจรนี้เรียกว่า เอาต์พุตทรานส์ฟอเมอร์ (OPT = Output Transformer)

วงจรขยายกำลังคลาส A ในรูปที่ 10.12 ทำหน้าที่เป็นภาคขับสัญญาณซึ่งจัดเฟสสัญญาณอินพุตเพื่อทำการขับสัญญาณให้ภาคเอาต์พุตของวงจรขยายกำลังคลาส AB ซึ่งกำลังอินพุตคือ ภาคขับสัญญาณซึ่งมีค่าน้อยกว่าเอาต์พุตกำลังของวงจร ดังนั้นประสิทธิภาพของวงจรขยายกำลังคลาส A จึงไม่มีความสำคัญ

เอาต์พุตทรานส์ฟอเมอร์ T_2 จะมีเส้นเตอร์แทปที่ขดปฐมภูมิแต่ละครึ่งของขดปฐมภูมิจะทำหน้าที่เป็นโหลดให้ทรานซิสเตอร์ TR_1 และ TR_2 ตัวต้านทาน R_5 และ R_6 เป็นการจัดไบอัสทำให้ TR_1 และ TR_2 นำกระแสและตัวต้านทาน R_7 และ R_8 เป็นอิมิตเตอร์เคอร์เร็นต์ไบอัส ส่วน T_1 และ TR_3 ต่อเป็นวงจรขยายกำลังคลาส A โดยมี R_1 และ R_2 เป็นตัวต้านทานจัดไบอัสให้ที่เบสโดยมีขดปฐมภูมิของ T_1 ทำหน้าที่เป็นโหลดให้กับ TR_1 และมี R_3 และ R_4 เป็นอิมิตเตอร์เคอร์เร็นต์ไบอัสที่ R_4 จะมี C_2 ต่อขนาน ดังนั้นการป้อนกลับของสัญญาณจะเกิดขึ้นเฉพาะที่ R_3 เท่านั้นที่ขดทุติยภูมิของ T_1 จะมีเส้นเตอร์แทป ทำหน้าที่เป็นตัวจัดเฟสของสัญญาณให้กับ TR_1 และ TR_2



รูปที่ 10.12 วงจรขยายภาคเอาต์พุตคลาส AB

เมื่อไม่มีสัญญาณอินพุตทรานซิสเตอร์แต่ละตัวนำกระแสโดยวงจรแบ่งแรงดัน R_5 และ R_6 จัดไบอัสให้ที่เบสของ TR_1 และ TR_2 ผ่านขดทุติยภูมิของ T_1 เป็นแรงดันบวก (เพื่อกำจัดเวลาหน่วงในการนำกระแสของทรานซิสเตอร์ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดคrossover distortion ขึ้นในวงจรขยายกำลังคลาส B เมื่อขดทุติยภูมิ T_1 ด้านบนเป็นบวกและด้านล่างเป็นลบแรงดันเบสของ TR_1 จะเป็นบวกและแรงดันเบสของ TR_2 เป็นลบทำให้ TR_1 นำกระแสส่วน TR_2 หยุดนำกระแสและเมื่อขดทุติยภูมิ T_1 ด้านบนเป็นลบและด้านล่างเป็นบวกจะทำให้แรงดันเบสของ TR_2 เป็นบวกและ TR_1 เป็นลบทำให้ TR_2 นำกระแสส่วน TR_1 ไม่นำกระแส

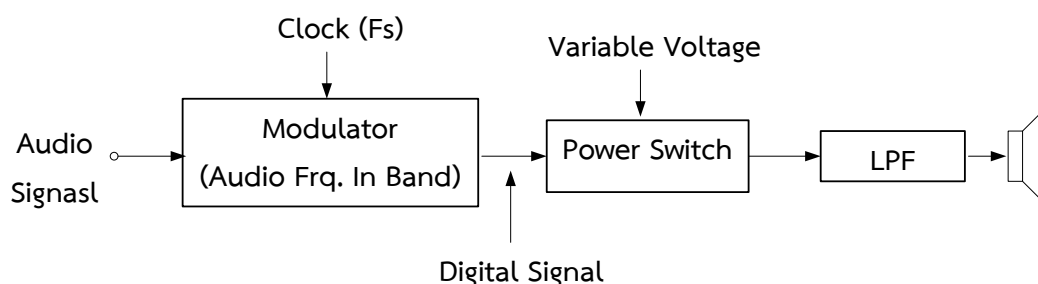
วงจรขยายกำลังคลาส AB จะมีประสิทธิภาพการขยายน้อยกว่าวงจรขยายกำลังคลาส B แต่วงจรขยายกำลังคลาส AB จะนิยมใช้กันมากกว่าวงจรขยายกำลังคลาส A เพราะมีประสิทธิภาพในการขยายสูงกว่าคลาส A

ปัญหาของทรานส์ฟอเมอร์คัปเปิลในวงจรขยายคือ ทรานส์ฟอเมอร์จะมีผลตอบสนองทางด้านความถี่ต่ำและความถี่สูงไม่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับกรขยายแบบอื่นๆซึ่งมีย่านการขยายความถี่กว้างและมีอัตราขยายเท่ากันทุกความถี่

10.4 วงจรขยายกำลังคลาส D

แอมป์ Class D สามารถควบคุมได้โดยวงจรแอนะล็อกหรือดิจิทัล การควบคุมแบบดิจิทัล จะสร้างการบิดเบือนเพิ่มเติมที่เรียกว่า quantization error ที่เกิดจากการแปลงสัญญาณอินพุตให้เป็นค่าดิจิทัล

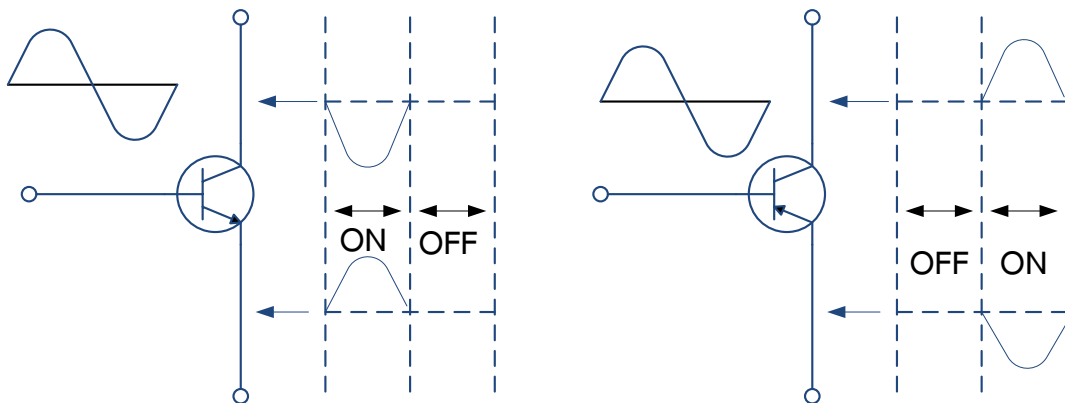
ข้อได้เปรียบหลักของแอมป์คลาส D ก็คือประสิทธิภาพพลังงาน เพราะฟัลส์เอาต์พุตมีแอมพลิจูดคงที่ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงานปกติคือ MOSFET และทรานซิสเตอร์ จะถูกควบคุมให้ ON หรือ OFF อย่างสมบูรณ์ แทนที่จะทำงานอยู่ในโหมดเชิงเส้น MOSFET จะทำตัวเป็นตัวต้านทานที่มีค่าความต้านทานต่ำสุดในขณะ ON อย่างสมบูรณ์ (และมีความต้านทานสูงสุดเมื่อ OFF อย่างสมบูรณ์) และทำให้มีการกระจายความร้อนน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับแอมป์คลาส AB การสูญเสียที่ต่ำกว่าของแอมป์คลาส D จะใช้แผ่นระบายความร้อน ขนาดเล็กสำหรับ MOSFET ในขณะที่ยังสามารถลดปริมาณของพลังงานที่ อินพุตที่จำเป็น แหล่งจ่ายไฟก็สามารถออกแบบให้ลดขนาดลงด้วย เพราะฉะนั้น, แอมป์คลาส D โดยทั่วไปจะมีขนาดเล็กกว่าแอมป์คลาส AB โดยการขยายกำลังงานเสียงคลาส D มีหลักการทำงานอย่างง่ายตามรูปที่



ซึ่งสัญญาณเสียงจะผ่านมอดูเลเตอร์ เพื่อแปลงเสียงให้เป็นสัญญาณดิจิทัล ที่จุด a โดยสัญญาณดิจิทัลที่ได้ จะต้องยังคงมีองค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณเสียงอยู่ด้วย หลังจากนั้นจะนำสัญญาณ ดิจิตอลไปขยายกำลังโดยใช้ทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟต (MOSFET) และเมื่อนำไปผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter : LPF) ก็จะได้สัญญาณเสียงที่มีกำลังงานเพิ่มขึ้นกลับคืนมาที่จุด c และนำไปเข้าลำโพงต่อไป

10.5 วงจรคอมพลิเมนต์ารี (Complimentary)

เป็นวงจรขยายกำลังคลาส AB ไม่ใช้ทรานส์ฟอร์มเมอร์ในการถ่ายทอดสัญญาณแต่จะใช้คุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ NPN กับ PNP ทำงานร่วมกันเนื่องจาก NPN ทรานซิสเตอร์จะนำกระแสเมื่อป้อนแรงดันในไซเกิลบวกและ PNP ทรานซิสเตอร์จะนำกระแสเมื่อมีแรงดันในไซเกิลลบเท่านั้นดังแสดงในรูปที่ 10.13

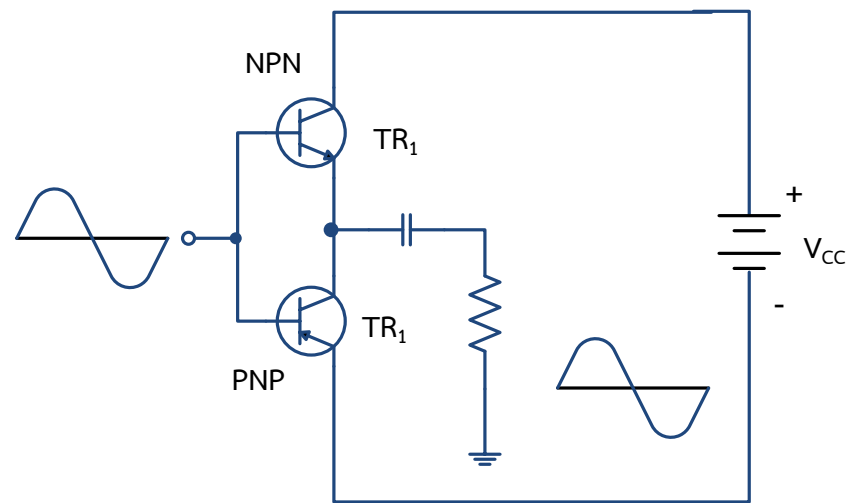


(ก) NPN Transistor

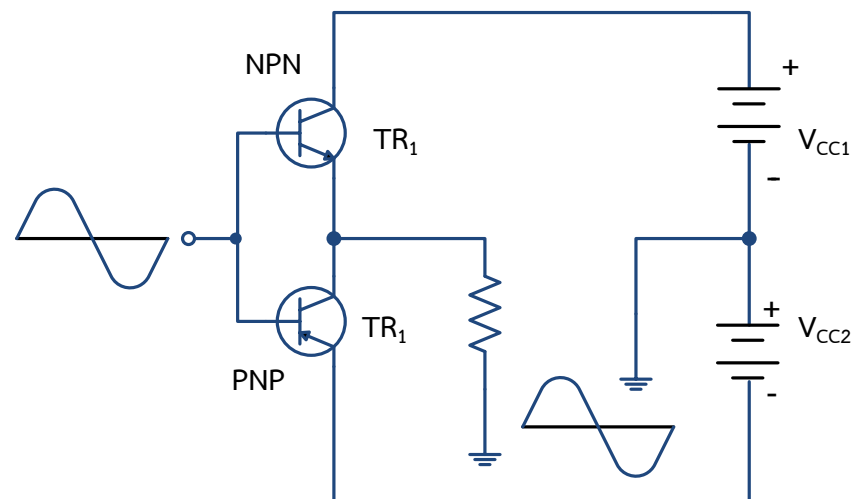
(ข) PNP Transistor

รูปที่ 10.13 การนำกระแสของทรานซิสเตอร์

วงจรแบบคอมพลิเมนต์ารีแสดงดังรูปที่ 10.14 ใช้ NPN ทรานซิสเตอร์กับ PNP ทรานซิสเตอร์ ต่อวงจรแบบโวลต์เดจฟอลโลเวอร์ทรานซิสเตอร์ทั้งสองจะถูกเลือกให้มีคุณสมบัติและค่าพารามิเตอร์ที่เหมือนกันเรียกว่า คอมพลิเมนต์ารีอิมิตเตอร์ฟอลโลเวอร์จะป้อนสัญญาณที่เบสของทรานซิสเตอร์พร้อมกันเมื่อป้อนสัญญาณที่อินพุตของวงจร NPN ทรานซิสเตอร์อิมิตเตอร์ฟอลโลเวอร์จะทำงานในช่วงแรงดันสัญญาณอินพุตในไซเกิลบวกและ PNP อิมิตเตอร์ฟอลโลเวอร์จะทำงานในช่วงแรงดันสัญญาณอินพุตในไซเกิลลบ



รูปที่ 10.14 หลักการเบื้องต้นของวงจรคอมพลีเมนต์ารี แบบที่ใช้คาปาซิเตอร์คัปเปิลสัญญาณที่เอาต์พุต

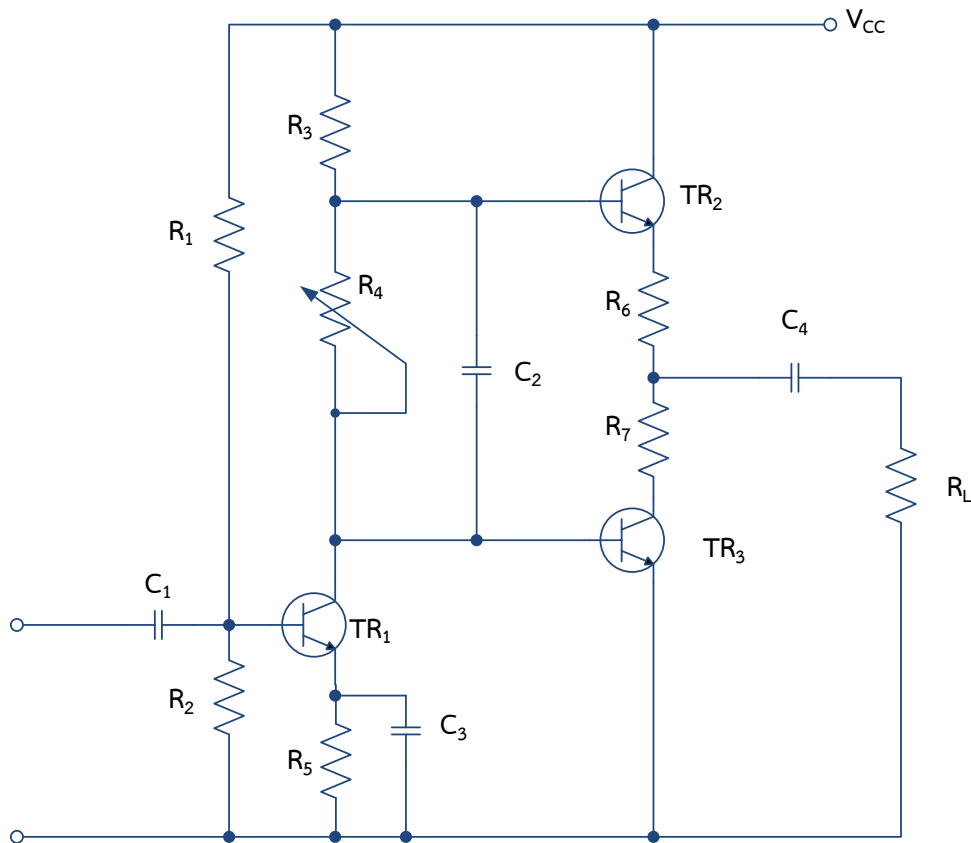


รูปที่ 10.15 หลักการเบื้องต้นของวงจรคอมพลีเมนต์ารี แบบไดเร็กคัปเปิลที่เอาต์พุต

วงจรคอมพลีเมนต์ารีจำแนกตามการเชื่อมต่อสัญญาณมี 2 แบบ คือแบบที่ใช้คาปาซิเตอร์คัปเปิลสัญญาณที่เอาต์พุตเรียกว่าแบบ OTL (Output Transformer Less) ดังรูปที่ 10.14 และแบบไดเร็กคัปเปิลที่เอาต์พุตเรียกว่าแบบ OCL (Output Capacitor Less) ดังรูปที่ 10.15

10.3.2.1 วงจรคอมพลิเมนต์ารีคาแบบที่ใช้คาปาซิเตอร์คัปเปิลสัญญาณที่เอาต์พุต

OTL (Output Transformer Less) ดังแสดงในรูปที่ 10.16 เรียกว่าวงจรขยายคอมพลิเมนต์ารีสมาตร (Complementary Symmetry Amplifier)



รูปที่ 10.16 วงจรขยายคอมพลิเมนต์ารีสมาตร

ทรานซิสเตอร์ TR_1 และตัวต้านทาน R_1 ถึง R_5 เป็นวงจรขยายกำลังคลาส A ซึ่งจัดไบอัสแบบอิมิตเตอร์เฟิร์สต์ไบอัสทำหน้าที่เป็นวงจรขยายภาคหน้าแรงดันเอาต์พุตของ TR_1 ตกคร่อมที่ R_3 และถูกป้อนไปที่เบสของ TR_2 และ TR_3 ตัวต้านทาน R_4 จะทำหน้าที่เป็นตัวจัดแรงดันไบอัสเพื่อรักษารอยต่อของเบส-อิมิตเตอร์ของ TR_2 และ TR_3 ให้ได้รับไบอัสตรงเมื่อไม่มีการป้อนสัญญาณอินพุต C_2 จะทำหน้าที่ลัดสัญญาณความถี่ที่ตกคร่อม R_4 ดังนั้นสัญญาณที่เบสของ TR_2 และ TR_3 จะเป็นสัญญาณเดียวกัน

ตัวต้านทาน R_6 และ R_7 ทำหน้าที่จำกัดกระแสที่ไหลผ่าน TR_2 และ TR_3 เมื่อมีแรงดันเอาต์พุตตกคร่อมที่ R_L R_6 และ R_7 จะช่วยให้กระแสในสถานะที่ไม่มีสัญญาณป้อนให้มีเสถียรภาพที่จุดทำงาน C_4 จะเชื่อมต่อสัญญาณเอซีที่ขยายได้จากเอาต์พุตของวงจรขยายกำลังไปที่โหลด R_L และทำหน้าที่แยกไบอัสดีซีของทรานซิสเตอร์ไม่ให้มีผลต่อ R_L

ที่รอยต่อของตัวต้านทาน R_6 และ R_7 จะมีแรงดันไบอัส $V_{CC}/2$ ดังนั้นแรงดันเอาต์พุตที่ป้อนให้ C_4 สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันในสัญญาณในไซเคิลบวกและสัญญาณในไซเคิลลบมีค่าเท่ากันจะเห็นว่าเมื่อ TR_2 นำกระแสส่วน TR_3 ไม่นำกระแสจะมีกระแสไหลจากแหล่งจ่ายผ่าน TR_2 ไปที่ R_L และ C_4 จะเก็บประจุเมื่อ TR_3 นำกระแสและ TR_2 หยุดนำกระแสจะไม่มีการไหลจากแหล่งจ่ายแรงดัน ดังนั้น C_4 จะคายประจุสะสมทำให้เกิดกระแสไหลผ่าน TR_3 ไปที่ R_L ซึ่งกระแสไหลนี้จะไม่ใช้กระแสที่ไหลจากแหล่งจ่ายในขณะที่ TR_3 นำกระแส

ตัวเก็บประจุจำนวนที่จุดตัดของความถี่ที่ต้องการในวงจรจะมีค่าปาสซีเตอร์คัปเปิลที่โหลดเพียงตัวเดียว ดังนั้นที่จุดตัดความถี่ที่ต่ำกว่า 3 dB X_{C_4} จะมีค่าเท่ากับ R_L ที่ความถี่ f_1

แรงดันพีกเอาต์พุต (V_p) และกระแสพีกเอาต์พุต (I_p) คำนวณได้จากสมการที่ 10.22 และสมการที่ 10.27 แรงดันตกคร่อมตัวต้านทานอิมิตเตอร์ R_6 และ R_7 จะมีค่าเท่ากับ $1/10$ ของแรงดันพีกเอาต์พุตเมื่อมีกระแสพีกไหลผ่าน ดังนั้น R_6 และ R_7 จะคำนวณหาค่าได้จาก V_p และ I_p

การเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เบสของ TR_2 และ TR_3 คือผลรวมของ V_p และ V_{R_6} หรือ V_{R_7} ในสภาวะปกติแรงดันคอลเลคเตอร์-อิมิตเตอร์ ($V_{CE}(dc)$) ของ TR_1 มีค่ามากพอที่จะให้มีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณในไซเคิลลบของแรงดันที่เบส TR_2 และ TR_3 โดย $V_p + V_{R_7}$ ปราศจากการทำให้ TR_1 ทำงานในย่านอิมิตัวล้ายอมให้ $V_{CE1}(min) = 1$ V ดังนั้น

$$V_{CE}(dc) = V_B + 1 \text{ V}$$

และในทำนองเดียวกันแรงดันดีซีที่ตกคร่อม R_3 ($V_{R_3}(dc)$) จะต้องมีค่ามากพอที่จะทำให้เบส TR_2 และ TR_3 สามารถเปลี่ยนแปลงในไซเคิลบวกโดยปราศจากการทำให้ TR_1 นำกระแสที่จุดคัตออฟ ดังนั้น

$$V_{R_3}(dc) = V_{CE}(dc)$$

$$V_{R_3}(dc) = V_B + 1 \text{ V}$$

แรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน R_4 ควรมีค่ามากพอที่ทำให้ TR_2 และ TR_3 ทำงานในสภาวะสงบสำหรับการขยายในคลาส AB TR_1 ควรมีกระแสคอลเลคเตอร์มากกว่ากระแสพีกที่เบสที่ไหลเข้า TR_2 และ TR_3 ค่าแรงดันและกระแสนี้จะใช้หาคำนวณค่า R_3 และ R_4 ได้และตัวต้านทาน R_1 , R_2 และ R_5 จะหาโดยใช้วิธีเดียวกับวงจรอิมิตเตอร์เคอร์เรนต์ไบอัส

แรงดันที่ขาคอลเลคเตอร์-อิมิตเตอร์สูงสุด (V_{CE}) สำหรับเอาต์พุตของทรานซิสเตอร์คือแหล่งจ่ายแรงดัน V_{CC} และค่ากระแสสูงสุดของทรานซิสเตอร์คือผลรวมของกระแสพีกที่โหลดกับกระแสที่จุดทำงานของ TR_2 และ TR_3 จะต้องมีค่าไม่มากกว่า $1.1 \times I_p$ อัตราทนกำลังของ TR_2 และ TR_3 คำนวณ

จากกำลังดีซีที่ส่งไปที่ภาคเอาต์พุตจากแหล่งจ่ายลบด้วยอัตราทนกำลังเอซีโหลด ส่วนแหล่งจ่ายของทรานซิสเตอร์แต่ละตัวก็ยังคงเหมือนเดิม

กระแสที่ไหลจากแหล่งจ่ายในระหว่างครึ่งสัญญาณไซเคิลบวกของเอาต์พุตแต่จะไม่มีกระแสไหลในระหว่างครึ่งสัญญาณไซเคิลลบ ดังนั้นกระแสที่จ่ายออกไปเป็นครึ่งหนึ่งของสัญญาณและกระแสเฉลี่ยจากแหล่งจ่ายมีค่าดังนี้

$$I_{ave} = 0.5 \times 0.636 I_p$$

และ

$$I_p = \text{กระแสพีคที่โหลด} + \text{กระแสที่จุดทำงาน}$$

$$I_p = I_p + (0.1 I_p)$$

$$I_p = 1.1 I_p$$

แทนค่าใน

$$I_{ave} = 0.5 \times 0.636 I_p$$

$$I_{ave} = 0.5 \times 0.636 (1.1 I_p)$$

$$I_{ave} = 0.35 I_p$$

และกำลังอินพุตดีซีของวงจรขยายภาคเอาต์พุตคือ

$$P_i(dc) = V_{CC} I_{ave}$$

...10.28

$$P_i(dc) = V_{CC} (0.35 I_p)$$

และอัตราทนกำลังของทรานซิสเตอร์คือ

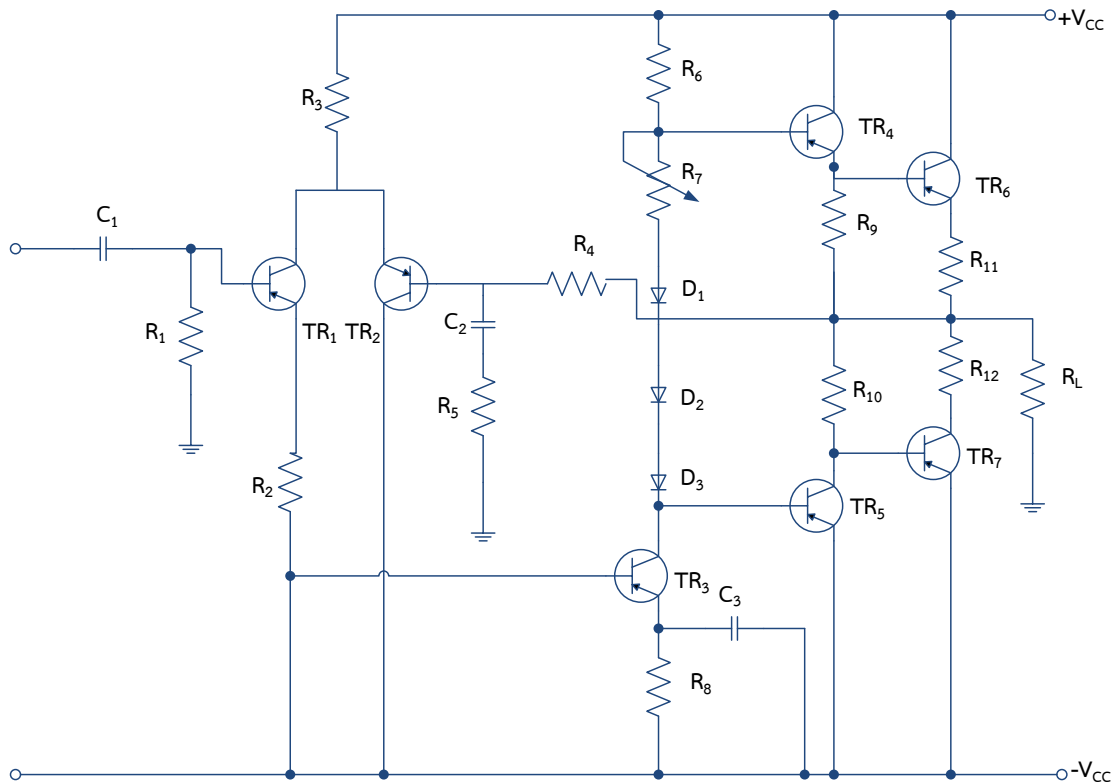
$$P_{TR} = 0.5 (P_i(dc) - P_o(ac))$$

...10.29

10.3.2.2 วงจรคอมพลิเมนต์ารีกาแบบวงจรไดเร็กต์เปิด (OCL)

ตัวเก็บประจุเชื่อมต่อที่เอาต์พุตของวงจรเป็นส่วนที่มีราคาแพงเนื่องจากมีขนาดความจุสูง ดังนั้นถ้าตัดตัวเก็บประจุเชื่อมต่อออกจากวงจรและต่อตัวต้านทานโหลดที่เอาต์พุตได้โดยตรง

จากวงจรในรูปที่ 10.17 เป็นวงจรขยายกำลังแบบไดเร็กต์เปิดจะต่อ TR_3 ไว้ระหว่างภาคเอาต์พุตกับภาคอินพุตภาคอินพุตคือ วงจรขยายดิฟเฟอเรนเชียลใช้ PNP ทรานซิสเตอร์ที่เบสของ TR_1 จะต่อตัวต้านทาน R_1 ลงกราวด์และนำสัญญาณจากเอาต์พุตกลับมาที่เบสของ TR_2 โดยผ่าน R_4 ดังนั้นเอาต์พุตดีซีจะมีค่าระดับเดียวกับกราวด์ซึ่ง R_4 และ R_5 จะเป็นวงจรแบ่งแรงดันเพื่อลดลงทอนสัญญาณเอซีที่ป้อนกลับอัตราขยายแรงดันทั้งหมดของวงจรคือ $A_v = (R_4 + R_5) / R_5$ ส่วน C_2 จะลัดวงจรที่สัญญาณความถี่



รูปที่ 10.17 วงจรขยายกำลังไตรีกัปปเปลี่ใช้ PNP ต่อวงจขยายดิฟเฟอเรนซ์เซิล

ในวงจรดิฟเฟอเรนเชียลซีลทำหน้าที่เป็นวงจรปริมาตรให้ภาคเอาต์พุตเรียกว่าวงจร

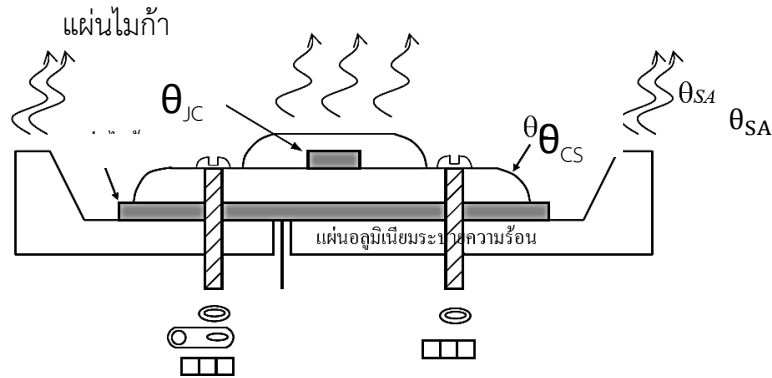
อินเตอร์มีเดียตสเตจ (Intermediate Stage) ถ้าแรงดันตกคร่อม R_2 คือ $V_{R2}=V_{BE3}+V_{BE8}$ ตัวต้านทาน
 อิมิตเตอร์ R_3 จะมีกระแสไหลผ่านมีค่าประมาณ $I_{C1}+I_{C2}$ และแรงดันตกคร่อมคือ $+V_{CC}-V_{BE}$ และ R_1
 จะถูกเลือกให้มีค่าไม่มากเกินไปโดย $I_B R_1 \ll V_{BE}$ และ R_4 ควรจะมีค่าเท่ากับ R_1 ส่วน R_5 จะมี
 ค่าประมาณ R_4/A_v และ $X_{C2}=R_5$ ที่จุดตัดของสัญญาณความถี่

ส่วนวงจรไดเรกต์เปิดในรูปที่ 10.18 วงจรดีเฟอเรนเชียลอินพุต TR_1 และ TR_2 จะใช้ NPNทรานซิสเตอร์แทน PNP และ TR_3 ถูกจัดให้เป็นวงจรปริไดรฟ์ทำงานร่วมกับ TR_4 ซึ่งทำหน้าที่เป็น วงจรจ่ายกระแสคงที่แทนใช้ตัวต้านทาน TR_4 จะมีอัตราขยายแรงดันเปิดสูง ซีเนอร์ไดโอด D_1 และตัวต้านทาน R_3 จะทำหน้าที่ดีคัปปลิงของแหล่งจ่ายแรงดันด้านลบส่วน C_3 และ C_5 จะทำหน้าที่ชดเชย ความถี่ที่เกิดจากการเฟดปออสซิเลชันเนื่องจากการทำงานของวงจร

θ_{JC} แทน อิมพีแดนซ์ของรอยต่อกับตัวถังของทรานซิสเตอร์ (Junction to Case)

θ_{CS} แทน อิมพีแดนซ์ของตัวถังกับแผ่นระบายความร้อน (Case to Sink)

θ_{SA} แทน อิมพีแดนซ์ของแผ่นระบายความร้อนกับอากาศรอบๆ ทรานซิสเตอร์ (Sink to Air)

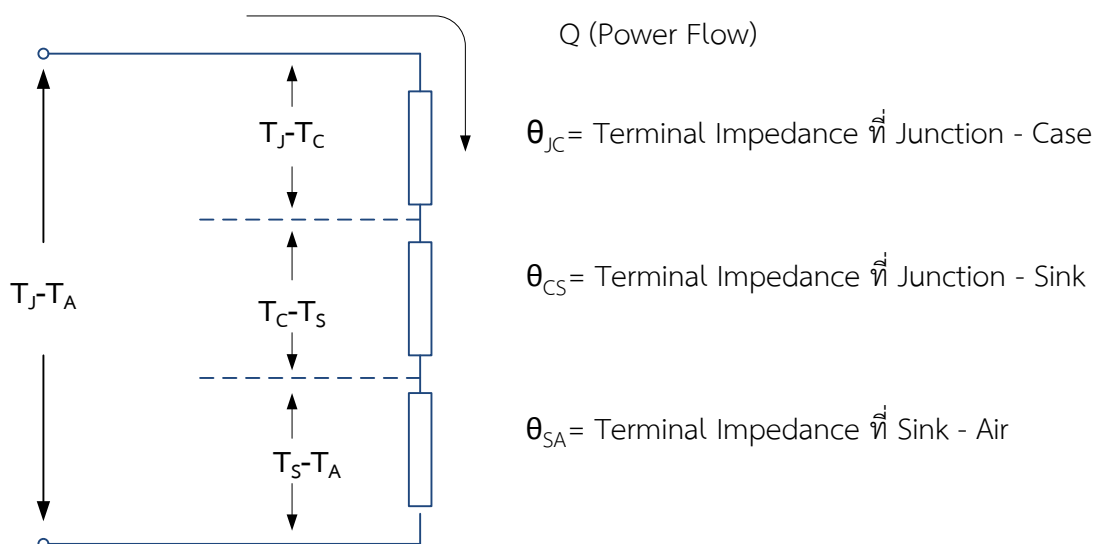


รูปที่ 10.19 เทอร์มอลอิมพีแดนซ์ของทรานซิสเตอร์ที่รอยต่อคอลเลคเตอร์-เบส

ที่มา : www.neutron.rmutphysics.com/physicsboard/forum/index.php

เข้าถึงเมื่อวันที่ 25 มิถุนายน 2555

รูปที่ 10.20 วงจรเทอร์มอลอิมพีแดนซ์ทั้งสามต่ออนุกรมเปรียบเทียบกับวงจรอนุกรมของตัวต้านทาน ในทางไฟฟ้ากำลังจะไหลผ่านวงจรเทอร์มอลดังนั้นก็จะมีอุณหภูมิที่เทอร์มอลอิมพีแดนซ์แต่ละตัวเหมือนกับแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานแต่ละตัวในวงจรไฟฟ้า จากกฎของโอห์มสามารถที่จะประยุกต์ใช้กับวงจรเทอร์มอลอิมพีแดนซ์ได้



รูปที่ 10.20 วงจรสมมูลเทอร์มอลอิมพีแดนซ์ที่รอยต่อคอลเลคเตอร์-เบส

ที่มา : www.neutron.rmutphysics.com/physicsboard/forum/index.php

เข้าถึงเมื่อวันที่ 25 มิถุนายน 2555

ในวงจรเทอร์มอลอิมพีแดนซ์คำนวณหาค่าเพาเวอร์โฟร์ ได้ดังนี้

$$Q = \frac{T_J - T_A}{\theta_{JC} + \theta_{CS} + \theta_{SA}} \quad \dots 10.30$$

เมื่อ Q คือ เพาเวอร์ดิสซิเพชัน

มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

$T_J - T_A$ คือ อุณหภูมิที่แตกต่างระหว่างรอยต่อ B-C ของทรานซิสเตอร์และอากาศ

มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)

θ_{JC} คือ อิมพีแดนซ์ของรอยต่อกับตัวถังของทรานซิสเตอร์ มีหน่วยเป็นเซลเซียสต่อวัตต์ ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)

θ_{CS} คือ อิมพีแดนซ์ของตัวถังกับแผ่นระบายความร้อน มีหน่วยเป็นเซลเซียสต่อวัตต์ ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)

θ_{SA} คือ อิมพีแดนซ์ของแผ่นระบายความร้อนกับอากาศรอบๆ ทรานซิสเตอร์

มีหน่วยเป็นเซลเซียสต่อวัตต์ ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)

การผลิตแผ่นระบายความร้อนโดยทั่ว ๆ ไปกำหนดรายละเอียดของเทอร์มอลอิมพีแดนซ์จากตัวถังของสารกึ่งตัวนำกับอากาศของแต่ละแผ่นระบายความร้อนปริมาณคือ ผลรวมของ θ_{JC} และ θ_{CS} ซึ่งหมายถึงจุดเชื่อมต่อระหว่างตัวถังทรานซิสเตอร์กับแผ่นระบายความร้อนจะถูกบันทึกจากรายละเอียดของโรงงานผลิตสมการที่ 10.30 จะใช้หาค่าของ θ_{SA} และจะเลือกแผ่นระบายความร้อนมีค่าเทอร์มอลอิมพีแดนซ์เท่ากับหรือน้อยกว่าที่คำนวณได้จากค่า θ_{SA}

ตัวอย่างที่ 10.4 ทรานซิสเตอร์มีค่า $V_{CE}=12\text{ V}$ และ $I_C=1.5\text{ A}$ มีเทอร์มอลอิมพีแดนซ์ระหว่างรอยต่อและตัวถัง $1^{\circ}\text{C}/\text{W}$ จาก Data Sheet ของแผ่นระบายความร้อนเลือกใช้แผ่นระบายความร้อนซึ่งจะรักษาให้อุณหภูมิของรอยต่อไม่เกิน 90°C เมื่อมีอุณหภูมิแวดล้อม 25°C

วิธีทำ เพาเวอร์ดิสซิเพชันของทรานซิสเตอร์คือ

$$Q = V_{CE} I_C$$

$$Q = 12\text{ V} \times 1.5\text{ A}$$

$$Q = 18\text{ W}$$

เทอร์มอลอิมพีแดนซ์ Case to Air คือ

$$\theta_{CA} = \theta_{CS} + \theta_{SA}$$

จากสมการที่ 10.30

$$Q = \frac{T_J - T_A}{\theta_{JC} + \theta_{CS} + \theta_{SA}}$$

$$\begin{aligned}\theta_{CS} + \theta_{SA} &= \frac{T_J - T_A}{Q} - \theta_{JC} \\ \theta_{CS} + \theta_{SA} &= \frac{90^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}}{18\text{ W}} - 1^\circ\text{C/W} \\ \theta_{CS} + \theta_{SA} &= \frac{65^\circ\text{C}}{25\text{ W}} - 1^\circ\text{C/W} \\ \theta_{CS} + \theta_{SA} &= 2.6^\circ\text{C/W}\end{aligned}$$

จากนั้นนำค่าที่คำนวณได้ไปเปิดคู่มือของแผ่นระบายความร้อนได้แก่รุ่น NC-421 รุ่น

NC-423 และรุ่น NC-441 จะมี θ_{CA} น้อยกว่า 2.6°C/W จึงควรเลือกใช้ NC-421

ตอบ

สรุป

วงจรขยายกำลังทำหน้าที่เพิ่มระดับความแรงของสัญญาณไฟฟ้าให้แรงมากขึ้นก่อนที่จะส่งไปให้โหลดโดยปกติโหลดที่ใช้กับวงจรขยายกำลังที่มีค่าความต้านทานต่ำเสมอ ประสิทธิภาพของวงจรขยายจะมีค่าสูงมากน้อยเพียงไรขึ้นอยู่กับการจัดคลาสของการขยาย ซึ่งแบ่งออกได้เป็นคลาส A, คลาส B, คลาส AB, คลาส C และคลาส D

คลาส A ทำการขยายสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามาเต็มรูปคลื่นทั้ง 360 องศา มีผลให้สัญญาณที่ถูกขยายออกเอาต์พุตมีรูปร่างสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามามีประสิทธิภาพกำลังขยายประมาณ 25% ถึง 50%

คลาส B ทำการขยายสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามาครึ่งรูปคลื่นเพียง 180 องศา มีผลให้สัญญาณที่ถูกขยายออกเอาต์พุตเพียงซีกเดียว อาจเป็นซีกบวกหรือซีกลบ มีประสิทธิภาพกำลังขยายประมาณ 25 % (อาจเป็น 50 %) และ 78.5 %

คลาส AB ทำการขยายสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามามากกว่า 180 องศา ถึงน้อยกว่า 360 องศา มีผลให้ได้สัญญาณที่ถูกขยายออกเอาต์พุตมีซีกหนึ่งขยายได้ทั้งหมด และอีกซีกหนึ่งขยายได้บางส่วน ต้องจัดวงจรขยายแบบพุช-พูล หรือแบบคอมพลีเมนต์ารี มีประสิทธิภาพกำลังขยายประมาณ 78.5 %

คลาส C ทำการขยายสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามาน้อยกว่าครึ่งรูปคลื่นหรือน้อยกว่า 180 องศา มีผลให้ได้สัญญาณที่ถูกขยายออกเอาต์พุตเพียงบางส่วนของซีกบวกหรือเพียงบางส่วนของซีกลบ มีประสิทธิภาพกำลังขยายมากกว่า 90 %

คลาส D ทำการขยายสัญญาณอินพุตในรูปสัญญาณพัลส์หรือดิจิตอล โดยใช้เทคนิคการทำงานแบบวิธีสุมตัวอย่างสัญญาณคลื่นไซน์ ได้สัญญาณดิจิตอลออกเอาต์พุต มีประสิทธิภาพกำลังขยายประมาณมากกว่า 90 %

แบบฝึกหัด

หน่วยที่ 10 วงจรขยายกำลัง (Power Amplifiers)

คำสั่ง จงตอบคำถามให้สมบูรณ์และถูกต้อง ใช้เวลาทำแบบฝึกหัด 20 นาที (คะแนนเต็ม 10 คะแนน)

1. อธิบายลักษณะของวงจรขยายกำลังคลาส A มาพอสังเขป

.....

.....

.....

.....

2. วงจรขยายกำลังคลาส B ทรานส์ฟอเมอร์คัปเปิลมีกำลัง 6 วัตต์ที่โหลด $30\ \Omega$ และแหล่งจ่ายแรงดัน $V_{CC} = 32\text{ V}$ จงคำนวณหาคุณสมบัติของเอาต์พุตทรานส์ฟอเมอร์และเอาต์พุตทรานซิสเตอร์ ถ้ากำหนดให้ทรานส์ฟอเมอร์มีประสิทธิภาพ 70 %

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. อธิบายลักษณะของวงจรขยายกำลังคลาส AB มาพอสังเขป

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4. วงจรคอมพลิเมนต์ารี่จำแนกตามการเชื่อมต่อสัญญาณได้กี่แบบอะไรบ้าง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5. ทรานซิสเตอร์มีค่า $V_{CE}=20\text{ V}$ และ $I_C=4\text{ A}$ มีเทอร์มอลอิมพีแดนซ์ระหว่างรอยต่อและตัวถัง 1.5°C/W จาก Data Sheet ของแผ่นระบายความร้อนเลือกใช้แผ่นระบายความร้อนซึ่งจะรักษาให้อุณหภูมิของรอยต่อไม่เกิน 90°C เมื่อมีอุณหภูมิแวดล้อม 25°C

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

แบบทดสอบหลังเรียน

หน่วยที่ 10 วงจรขยายกำลัง (Power Amplifiers)

คำชี้แจง

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

1. ข้อใดเป็นลักษณะของวงจรขยายกำลังคลาส AB
 - ก. วงจรขยายที่มีการจ่ายไบอัสทรานซิสเตอร์ตลอด 1 ไซเคิล
 - ข. วงจรขยายที่มีการจ่ายไบอัสทรานซิสเตอร์ที่ไม่เกิน 1 ไซเคิล
 - ค. มีประสิทธิภาพกำลังของการขยายสูงกว่า 90%
 - ง. วงจรขยายที่มีการจ่ายไบอัสทรานซิสเตอร์ต่ำกว่าครึ่งไซเคิล
 - จ. เป็นวงจรขยายกำลังที่ใช้กับสัญญาณพัลส์ดิจิตอล
2. ข้อใดมีลักษณะตรงกับวงจรขยายกำลังคลาส A
 - ก. ใช้การไบอัสทรานซิสเตอร์ที่กึ่งกลางของเส้นโหลด
 - ข. มีการเกิดความเพี้ยนของสัญญาณมาก
 - ค. มีประสิทธิภาพในการขยายกำลังค่อนข้างดี
 - ง. เมื่อไม่มีการป้อนสัญญาณจะไม่เกิดกำลังงานสูญเสียที่ทรานซิสเตอร์
 - จ. มีประสิทธิภาพกำลังของการขยาย 100%
3. จงคำนวณหาประสิทธิภาพสูงสุดของวงจรขยายคลาส A เมื่อกำหนดให้กำลังเอาต์พุตที่ ทรานสฟอเมอร์มีค่าเท่ากับ $P_O (ac) = 26.6 \text{ mW}$ และกำลังทางต้านอินพุตมีค่าเท่ากับ $P_i (dc) = 131.4 \text{ mW}$
 - ก. 18.32%
 - ข. 19.11%
 - ค. 19.69%
 - ง. 20.24%
 - จ. 21.53%
4. ข้อใดเป็นลักษณะของวงจรขยายกำลังคลาส AB ทรานส์ฟอเมอร์คัปเปิลได้
 - ก. ทรานส์ฟอเมอร์จะมีผลตอบสนองทางด้านความถี่ต่ำและความถี่สูงดี
 - ข. มีประสิทธิภาพการขยายมากกว่าวงจรขยายกำลังคลาส B
 - ค. ใช้ทรานส์ฟอเมอร์เป็นตัวเชื่อมต่อที่ภาคเอาต์พุต

- ง. ใช้คาปาซิเตอร์เป็นตัวเชื่อมต่อที่ภาคเอาต์พุต
- จ. ใช้อินดักเตอร์เป็นตัวเชื่อมต่อที่ภาคเอาต์พุต
5. ข้อใดเป็นลักษณะของวงจรคอมพลิเมนตารี (Complimentary)
- ก. ใช้คาปาซิเตอร์เป็นตัวเชื่อมต่อที่ภาคเอาต์พุต
- ข. มีประสิทธิภาพการขยายมากกว่าวงจรขยายกำลังคลาส A
- ค. ใช้ทรานส์ฟอเมอร์ในการถ่ายทอดสัญญาณ
- ง. ใช้ทรานซิสเตอร์ NPN กับ PNP ทำงานร่วมกัน
- จ. ใช้เฟตชนิด N-Channel และ P-Channel ทำงานร่วมกัน
6. สมการหาค่าประสิทธิภาพสูงสุดของวงจรขยายกำลังคลาส B ตรงกับข้อใด
- ก. $\% \eta = \frac{0.5V_{ECIp}}{0.636V_{CCIp}} \times 100\%$
- ข. $\% \eta = \frac{0.5V_{CCIp}}{0.636V_{CCIp}} \times 100\%$
- ค. $\% \eta = \frac{0.5V_{ECIp}}{V_{CCIp}} \times 100\%$
- ง. $\% \eta = \frac{0.7V_{CCIp}}{0.707V_{CCIp}} \times 100\%$
- จ. $\% \eta = \frac{V_{ECIp}}{V_{CCIp}} \times 100\%$
7. ทรานซิสเตอร์มีค่า $V_{CE} = 20 \text{ V}$ และ $I_C = 1.2 \text{ A}$ มีเทอร์มอลอิมพีแดนซ์ระหว่างรอยต่อ และตัวถัง $1.5 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$ จาก Data Sheet ของแผ่นระบายความร้อนควรเลือกใช้แผ่นระบายความร้อนซึ่งจะรักษาให้อุณหภูมิของรอยต่อไม่เกิน $90 \text{ }^{\circ}\text{C}$ เมื่อมีอุณหภูมิแวดล้อม $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ที่มีค่าเทอร์มอลอิมพีแดนซ์ Case to Air เท่าใด
- ก. $1.6 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$
- ข. $3.9 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$
- ค. $4.1 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$
- ง. $5.3 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$
- จ. $6.4 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$
8. การออกแบบวงจรคอมพลิเมนตารี (Complimentary) ให้มีการทำงานคงที่ต่ออุณหภูมิของการทำงานมีวิธีการอย่างไร
- ก. ใส่วงจรไบอัสอัตโนมัติควบคู่กับแผ่นระบายความร้อน
- ข. ติดตั้งพัดลมระบายความร้อนให้กับแผ่นระบายความร้อน

- ค. ใช้แผ่นระบายความร้อนที่มีขนาดใหญ่
 - ง. ใส่วงจรป้องกันความร้อนสูงเกิน
 - จ. เลือกใช้วงจรขยายกำลังคลาส C
9. ข้อใดเป็นลักษณะของวงจรขยายกำลังคลาสดี
- ก. มีจุดการทำงานอยู่สูงสุดของเส้นโหลดไลน์
 - ข. มีจุดการทำงานอยู่ต่ำกว่าเส้นโหลดไลน์
 - ค. ใช้หลักการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลแล้วนำไปขยาย
 - ง. ขยายย่านความถี่สูงได้ดี
 - จ. มีอัตราขยายกำลังต่ำความร้อนสูง
10. วงจรคอมพลิเมนตารี (Complimentary) แบบสมมาตรต้องใช้แหล่งจ่ายชนิดใด
- ก. แหล่งจ่ายไฟแบบเดียว
 - ข. แหล่งจ่ายไฟแบบคู่
 - ค. แหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้น
 - ง. แหล่งจ่ายแบบปรับค่าได้
 - จ. แหล่งจ่ายไฟแบบคงที่

	ใบงานที่ 10.1	หน่วยที่ 10
	รหัสวิชา 3105-1003 วิชา การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์	สอนครั้งที่ 1
	ชื่อหน่วย วงจรขยายกำลัง (Power Amplifiers)	คาบรวม 10
ชื่อเรื่อง	วงจรขยายแบบคลาส A (Class A Amplifier)	จำนวนคาบ 3

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

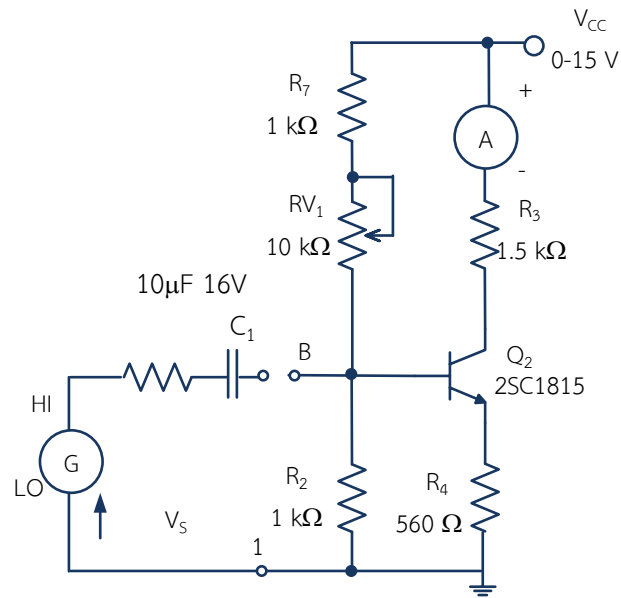
1. ต่วงจรขยายแบบคลาส A (Class A Amplifier) เพื่อทดลองตามใบงานได้อย่างถูกต้อง
2. วัด อ่านค่า แรงดันและกระแสในวงจรตามที่ใบงานกำหนดได้อย่างถูกต้อง
3. วัดสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาต์พุตได้อย่างถูกต้อง

เครื่องมือและอุปกรณ์

- | | |
|--|---------------|
| 1. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์หรือแอนะล็อกมัลติมิเตอร์ | 2 เครื่อง |
| 2. แหล่งจ่ายไฟตรงแบบปรับค่าได้ 0-30 V 3 A | 1 เครื่อง |
| 3. ออสซิลอสโคป | 1 เครื่อง |
| 4. ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ | 1 เครื่อง |
| 5. ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ V_{R1} 100 k Ω | 1 ตัว |
| 6. ตัวต้านทานค่าคงที่ R_1 1k Ω , R_2 2.2k Ω , R_3 10 Ω , R_4 1.5k Ω
R_5 100k Ω | อย่างละ 1 ตัว |
| 7. ตัวเก็บประจุ C_1 10 uF 16 V | 1 ตัว |
| 8. ทรานซิสเตอร์ เบอร์ BC548 | 1 ตัว |
| 9. แผงประกอบวงจรและสายต่อวงจร | 1 ชุด |

ลำดับขั้นตอนในการปฏิบัติใบงาน

1. ประกอบวงจรตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงการต่อวงจรข้อ 1

2. ปรับค่าแรงดัน V_{CC} ให้มีค่าเท่ากับ 15V และ I_{CQ} เท่ากับ 5 mA โดยการปรับ V_{R1}

3. ปลด V_{R1} ออก นำมาวัดค่าความต้านทาน บันทึกผล

ความต้านทาน $V_{R1} = \dots\dots\dots V$

4. วัดแรงดัน V_{CEQ} บันทึกผล

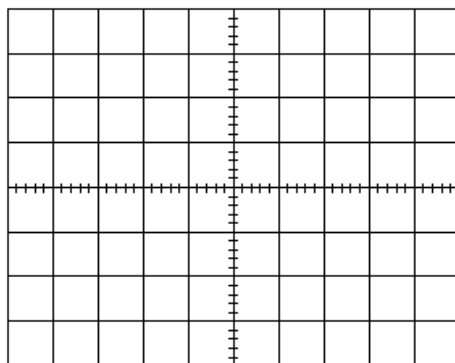
$V_{CEQ} = \dots\dots\dots V$

5. นำค่าที่วัดได้คำนวณหา กำลังงานสูญเสียใน Transistor ($P_t = V_{CEQ} \times I_{CQ}$)

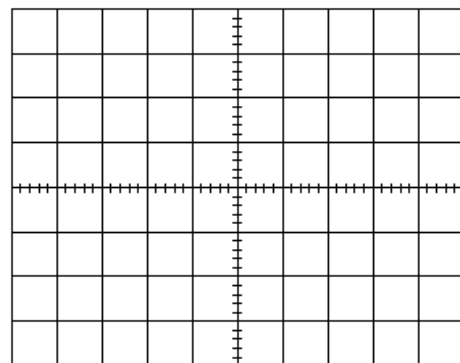
.....

6. ต่อจุด A-B เข้าด้วยกัน แล้วป้อนสัญญาณจาก Function Gen. โดยให้ผลิตความถี่ 1 kHz ที่แรงดัน 8 Vp-p

7. วัดสัญญาณอินพุตและเอาต์พุต บันทึกรูปสัญญาณ

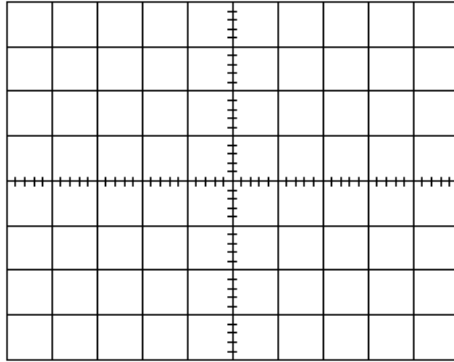


อินพุต

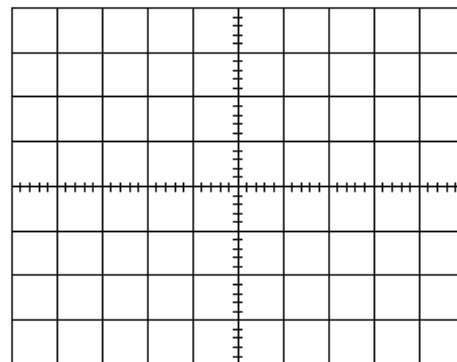


เอาต์พุต

8. ปรับแรงดัน V_{CC} ที่เล็กน้อย สังเกตการเปลี่ยนแปลงของรูปสัญญาณ บันทึกผลลักษณะสัญญาณไม่สมมาตร เช่น เนื่องจากความไม่เสถียรของทรานซิสเตอร์ เมื่อการทำงานเข้าใกล้ย่านหยุดนำกระแส

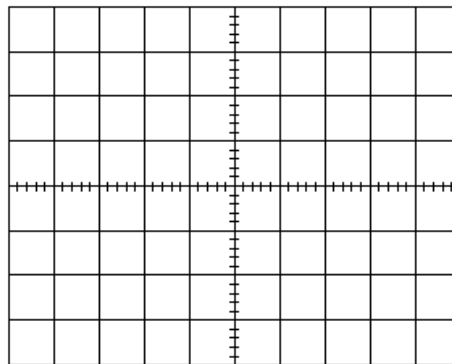


ลักษณะสัญญาณไม่สมมาตร



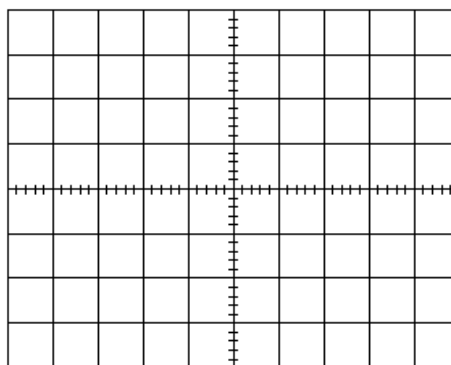
เอาต์พุต

9. . เพิ่มแรงดัน V_{CC} จนกระทั่งเกิดการเพี้ยน เนื่องมาจากการอิ่มตัวของทรานซิสเตอร์



เอาต์พุต

10. ปรับแรงดันอินพุต เพื่อให้ได้สัญญาณเอาต์พุตที่สูงที่สุด คือ V_{OUT} โดยไม่เพี้ยนทำการวัดและบันทึกผล



เอาต์พุต

สรุปผลการทดลอง

คำถามการทดลอง

1.จุดการทำงานของทรานซิสเตอร์ในวงจรขยายแบบคลาส A อยู่ที่ใด

2.เพราะเหตุใดเมื่อแรงดัน V_{CC} ขึ้นเรื่อย ๆ สัญญาณเอาต์พุตจึงเกิดการบิดเบี้ยว

3.เหตุใดประสิทธิภาพสูงสุดของการขยายในทางปฏิบัติจึงไม่เป็นตามทฤษฎี
