แบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 11

วงจรขยายกำลังและการป้อนกลับ

คำสั่ง ให้ทำเครื่องหมาย x ตรงข้อที่ถูกที่สุด เพียงข้อเดียว

1. ข้อใดกล่าวถูกต้องตรงกับคุณสมบัติของวงจรขยายกำลังคลาส AB
   ก. วงจรขยายที่มีการจ่ายไบอัสทรานซิสเตอร์ตลอด 1 ไซเคิล
   ข. วงจรขยายที่มีการจ่ายไบอัสทรานซิสเตอร์ที่ไม่เกิน 1 ไซเคิล
   ค. มีประสิทธิภาพกำลังของการขยายสูงกว่า 90%
   ง. วงจรขยายที่มีการจ่ายไบอัสทรานซิสเตอร์ต่ำกว่าครึ่งไซเคิล
2. ข้อใดกล่าวถูกต้องตรงกับคุณสมบัติของวงจรขยายกำลังคลาส A
   ก. ใช้การไบอัสทรานซิสเตอร์ที่กึ่งกลางของเส้นโหลด
   ข. มีการเกิดความเพี้ยนของสัญญาณมาก
   ค. มีประสิทธิภาพในการขยายกำลังค่อนข้างดี
   ง. มีประสิทธิภาพกำลังของการขยาย 100%
3. จงคำนวณหาค่าประสิทธิภาพสูงสุดของวงจรขยายคลาส A เมื่อกำหนดให้กำลังเอาท์พุตที่ ทรานส ฟอร์เมอร์มีค่าเท่ากับ PO (ac) = 26.6 mW และกำลังทางด้านอินพุตมีค่าเท่ากับ Pi (dc) = 131.4 mW
   ก.19.11%
   ข. 19.69%
   ค. 20.24%
   ง. 21.53%
4. ข้อใดกล่าวถูกต้องของวงจรขยายกำลังคลาส AB ทรานส์ฟอร์เมอร์คัปเปิล
   ก. ทรานสฟอร์เมอร์จะมีผลตอบสนองทางด้านความถี่ต่ำและความถี่สูงดี
   ข. ใช้ทรานสฟอร์เมอร์เป็นตัวเชื่อมต่อที่ภาคเอาท์พุต
   ค. ใช้ทรานซิสเตอร์NPN กับ PNP ทำงานร่วมกัน
   ง. ใช้เจเฟตชนิด N-Channel และ P-Channel ทำงานร่วมกัน

5. ข้อใดเป็นลักษณะของวงจรคอมพลิเมนตารี(Complimentary)
   ก. ใช้คาปาซิเตอร์เป็นตัวเชื่อมต่อที่ภาคเอาท์พุต
   ข. มีประสิทธิภาพการขยายมากกว่าวงจรขยายกำลังคลาส A
   ค. ใช้ทรานสฟอร์เมอร์ในการถ่ายทอดสัญญาณ
   ง. ใช้ทรานซิสเตอร์NPN กับ PNP ท างานร่วมกัน

6. สมการหาค่าประสิทธิภาพสูงสุดของวงจรขยายกำลังคลาส B ตรงกับข้อใด

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

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

ค. % $\eta = \frac{0.5V_{EC} \times I_P}{V_{CC} \times I_P} \times 100$

ง. % $\eta = \frac{V_{EC} \times I_P}{V_{CC} \times I_P} \times 100$

7. วงจรคอมพลิเมนตารี(Complimentary) แบบสมมาตรต้องใช้แหล่งจ่ายชนิดใด

ก. แหล่างจ่ายไฟแบบเดียว

ข. แหล่งจ่ายไฟแบบคู่

ค. แหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้น

ง. แหล่งจ่ายแบบปรับค่าได้

8. สมการการลดทอนของวงจรขยายแบบมีการป้อนกลับ ตรงกับข้อใด

ก. β

ข. $1 + \beta$

ค. $1 + \beta A$

ง. βA

9. ข้อใด ไม่ใช่ คุณสมบัติของวงจรขยายที่มีการป้อนกลับแบบลบ

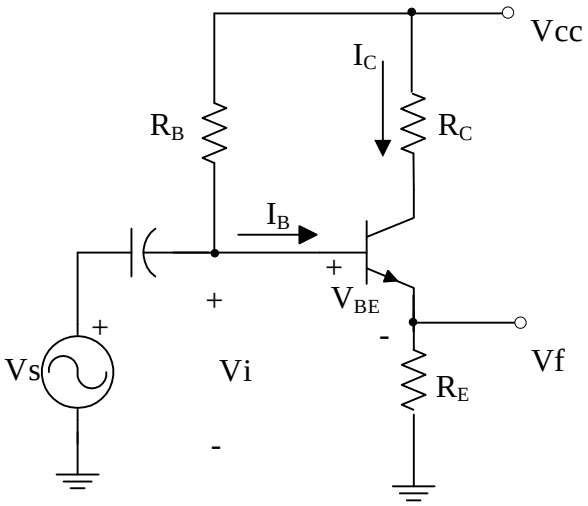
ก. อัตราขยายวงจรคงที่

ข. มีการชดเชยด้านอุณหภูมิการทำงานของวงจร

ค. เพิ่มแบนวิดท์การตอบสนองความถี่ดีขึ้น

ง. มุมเฟสระหว่างอินพุตและเอาท์พุตมีเฟสตรงกัน

10. จากวงจรเป็นการจัดวงจรป้อนกลับแบบใด



ก. การป้อนกลับแรงดันแบบอนุกรม (Voltage-Series Feedback)

ข. การป้อนกลับแรงดันแบบขนาน (Voltage-Shunt Feedback)

ค. การป้อนกลับกระแสแบบอนุกรม (Current-Series Feedback)

ง. การป้อนกลับกระแสแบบขนาน (Current-Shunt Feedback)

เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียน

ข้อ	เฉลย
1	ข
2	ก
3	ค
4	ค
5	ง
6	ข
7	ข
8	ค
9	ง
10	ก

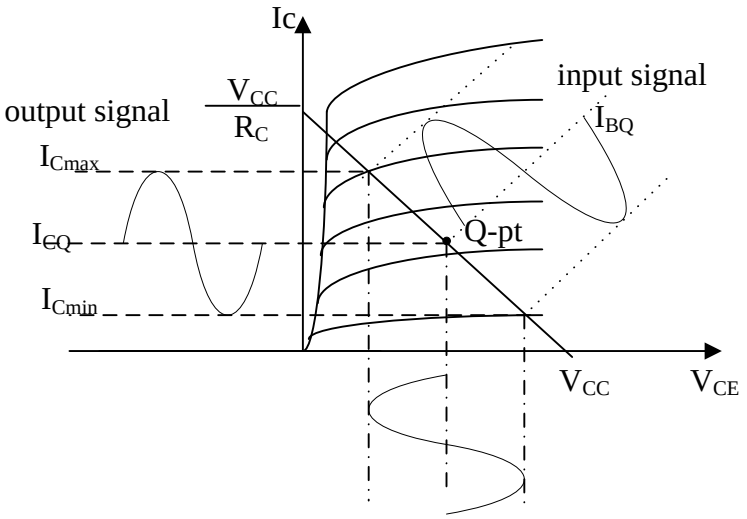
หน่วยที่ 11
วงจรขยายกำลัง (POWER AMPLIFIERS)

วงจรขยายกำลังเป็นทรานดิวเซอร์ (Transducer) หรือตัวแปลงพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานรูปอื่น ซึ่งโดยทั่วไปที่นิมใช้คือ ทรานซิสเตอร์ และเฟต เป็นตัวขยายสัญญาณเสียงออกสู่ลำโพง

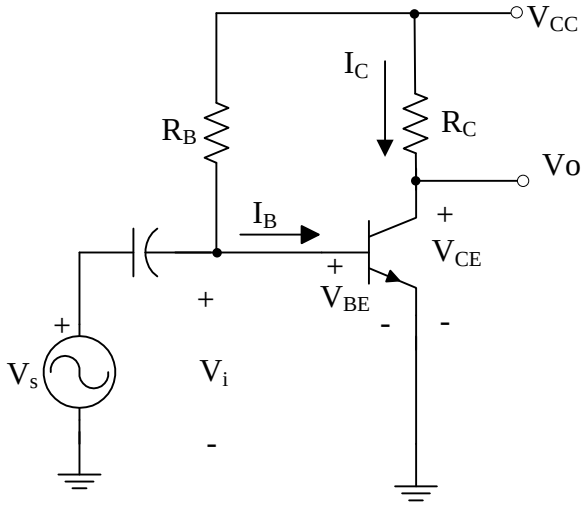
การตั้งจุดไบแอสให้กับวงจรขยายกำลังรียกว่าคลาส(Class) เช่น คลาส A (Class A) คลาส B (Class B) และคลาส AB (Class AB) เป็นต้น

11.1 วงจรขยายคลาส A แบบต่อโหลดโดยตรง (Series-fed Class A Amplifier)

จากกราฟ จะกำหนดจุดทำงานของวงจรทั้งค่าแรงดันและกระแสไว้ที่ประมาณครึ่งหนึ่งของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงวงจร $V_{CC}/2$ หรือ $I_{C(Max)} / 2$ นั้นแสดงว่าวงจรจะทำงานตลอดเวลาไม่ว่าจะมีสัญญาณหรือไม่มีสัญญาณที่อินพุตก็ตาม ดังนั้นสัญญาณที่ได้ทางเอาท์พุตเมื่อมีการขยายสัญญาณจะมีความสมมาตรของสัญญาณซีกบวกและซีกลบ การจัดวงจรไบแอสแบบนี้จะเป็นดังรูป 11.2



รูปที่ 11.1 คุณสมบัติทางเอาท์พุตของวงจรขยายคลาส A คอมมอนอีมิตเตอร์



รูปที่ 11.2 วงจรขยายคลาส A แบบต่อโหลดโดยตรง

จากวงจรการคำนวณหาค่ากระแสและแรงดันที่จุดทำงานของวงจร ก็จะเหมือนกับวงจรคอมมอนอีมิตเตอร์แบบไบแอสคงที่ ดังสมการข้างล่าง

$$I_B = \frac{V_{CC} - 0.7V}{R_B}$$

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

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

จุดสังเกตวงจรขยายคลาส A ค่าแรงดันและกระแสที่คำนวณได้จะมีค่าแรงดันที่ตกคล่อมระหว่างขาคอลเลกเตอร์ กับขาอีมิตเตอร์ (V_{CE}) มีค่าประมาณ $V_{CC}/2$ หรือค่ากระแสที่ขาคอลเลกเตอร์ (I_C) มีค่าประมาณ $I_{C(Max)} / 2$

10.1.1 กำลังไฟฟ้าที่ อินพุต Pi(dc)

เป็นค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงวงจร ดังนั้นกำลังไฟฟ้าจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าของ แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงวงจร

พิจาณาค่ากำลังไฟฟ้าที่ อินพุต ตามกฎของโอห์ม ได้ดังนี้

$$P_{i(dc)} = V_{CC} \cdot I_{CQ}$$

10.1.2 กำลังไฟฟ้าที่เอาท์พุต Po(dc)

เป็นค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากนำเอาสัญญาณที่ถูกขยายทางเอาท์พุตมาพิจารณาหาค่ากำลังไฟฟ้าที่เอาท์พุต ตามกฎของโอห์ม ได้ดังนี้

$$Po(dc) = I^2C(rms) \cdot R_C$$

จากสมการค่ากำลังไฟฟ้าจะเป็นค่ากำลังไฟฟ้าจริง(rms) ดังนั้นสัญญาณที่ถูกขยายทางเอาท์พุต (ac)จะต้องเปลี่ยนค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าให้เป็นค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าจริง ได้ดังนี้

$$Po(dc) = Ic(rms) \cdot V_{CE}(rms)$$

ตามกฎทางไฟฟ้าการหาค่าจริง (rms)

$$I_C = \left[\frac{I_C(peak)}{\sqrt{2}}\right]$$

$$V_{CE} = \left[\frac{V_{CE}(peak)}{\sqrt{2}}\right]$$

แทนค่าลงในสมการกำลังไฟฟ้า ได้ดังนี้

$$Po(dc) = \left[\frac{I_C(p)}{\sqrt{2}}\right] \cdot \frac{V_{CE}(p)}{\sqrt{2}}$$

$$= \frac{Ic(p) \cdot V_{CE}(p)}{2}$$

$$= \left[\frac{I_C(p-p)}{2\sqrt{2}}\right] \cdot \frac{V_{CE}(p-p)}{2\sqrt{2}}$$

$$Po(ac) = \frac{I_C(p-p) \cdot V_{CE}(p-p)}{8}$$

หรือถ้าพิจารณาจากสมการกำลังไฟฟ้าอื่นๆ ได้ดังนี้

$$I^2c(rms) \cdot R_C = \frac{V^2_{CE}(rms)}{R_C}$$

จากสมการการหาค่าจริง (rms) ของกระแสและแรงดัน

$$I_C = \left[\frac{I_C(peak)}{\sqrt{2}}\right]$$

$$V_{CE} = \left[\frac{V_{CE}(peak)}{\sqrt{2}}\right]$$

แทนค่าลงในสมการกำลังไฟฟ้า จะได้ดังนี้

$$\left[\frac{I_C(peak)}{\sqrt{2}}\right]^2 \cdot R_C = \frac{V^2_{CE}(peak)}{2 \cdot R_C}$$

$$\left[\frac{I^2_C(p-p)}{8}\right] \cdot R_C = \frac{V^2_{CE}(p-p)}{8 \cdot R_C}$$

$$Po(ac) = \left[\frac{I^2_C(p-p)}{8}\right] \cdot R_C$$

หรือ

$$Po(ac) = \frac{V^2_{CE}(p-p)}{8 \cdot R_C}$$

ประสิทธิภาพของ วงจรขยายคลาส A หาได้จากสัดส่วนของกำลังไฟฟ้าที่เอาท์พุตเทียบกับกำลังไฟฟ้าที่อินพุต และค่าที่ดีที่สุดคือเท่ากับ 1 นั้นแสดงว่า กำลังไฟฟ้าที่เอาท์พุต ได้เท่ากับกำลังไฟฟ้าที่อินพุต ตามสมการด้านล่าง

$$\%\eta = \frac{Po(ac)}{Pi(dc)} \times 100$$

ค่าประสิทธิภาพมีความสำคัญไม่เพียงแต่เป็นตัวบอกจำนวน กำลังไฟฟ้าที่เอาท์พุต ที่โหลดได้รับแล้ว ยังเป็นตัวบอกถึงค่ากำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไป (Power dissipation) ในรูปของความร้อนที่ผ่านทางทรานซิสเตอร์

Power dissipation (PQ) = Pi(dc) - Po(ac)

ค่ากำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพสูงสุด (Maximum Power and Efficency)

การเลือกจุดทำงานจะถูกเลือกไว้ที่กึ่งกลาง เพราะจะทำให้การสวิงของสัญญาณได้ค่าสูงสุด ดังนี้

จากสมการกำลังไฟฟ้าที่เอาท์พุต

$$Po(ac) = \frac{I_C(p-p) \cdot V_{CE}(p-p)}{8}$$

การพิจารณากำลังไฟฟ้าสูงสุดจะสมมติให้

$$V_{CE(p\text{-}p)\ max} = V_{CC}$$

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

แทนค่าลงสมการกำลังไฟฟ้าที่เอาท์พุต จะได้

$$Po(ac) = \frac{\frac{V_{CC}}{R_C} \cdot V_{CC}}{8}$$

$$Po(ac) = \frac{V^2_{CC}}{8 \times R_C}$$

จากสมการกำลังไฟฟ้าที่อินพุต

$$P_{i(dc)} = V_{CC} \cdot I_{CQ}$$

จาก

$$I_{CQ} = \frac{I_{C(P\text{-}P)max}}{2}$$

$$I_{CQ} = \frac{V_{CC} / R_C}{2}$$

$$I_{CQ} = \frac{V_{CC}}{2 \times R_C}$$

แทนค่าลงในสมการกำลังไฟฟ้าที่อินพุต

$$P_{i(dc)} = V_{CC} \cdot I_{CQ}$$

$$= V_{CC} \times \frac{V_{CC}}{2 \times R_C}$$

$$P_{i(dc)} = \frac{V^2_{CC}}{2 \times R_C}$$

ค่าประสิทธิภาพสูงสุด

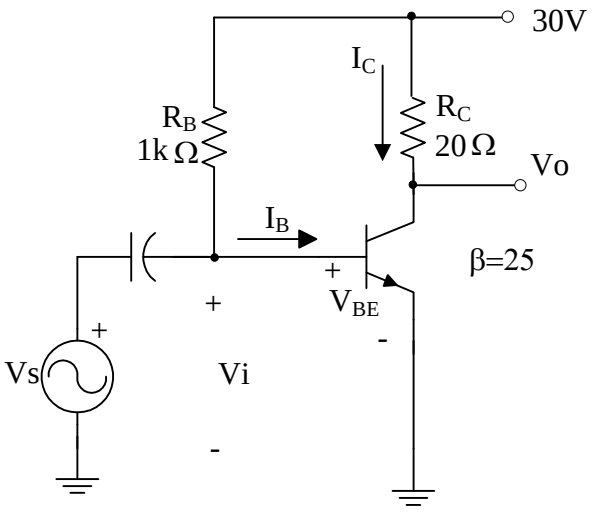
$$\%\eta = \frac{P_{o(ac)}}{P_{i(dc)}} \times 100$$

$$= \frac{V^2_{CC} / 8 \cdot R_C}{V^2_{CC} / 2 \cdot R_C} \times 100$$

$$\%\eta = \frac{1}{4} \times 100$$

$$\%\eta = 25\% \quad \textbf{ตอบ}$$

ตัวอย่างที่ 1 จงคำนวณหาค่ากระแสและแรงดันไบแอสของวงจร I_B , I_C และ V_{CE} ค่าเพาเวอร์ที่อินพุต Pi และเพาเวอร์ที่เอาท์พุต Po power dissipated ของทรานซิสเตอร์ และค่าประสิทธิภาพ(efficiency) กำหนดให้ input signal voltage กระแส I_B 10 mA(peak)



วิธีทำ

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

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

I_B = 19.3 mA ตอบ

$I_C = \beta \cdot I_B$

$= 25 \times 19.3mA$

I_C = 482.5 mA ตอบ

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

$= 20V - 482.5mA \times 20\Omega$

V_{CE} = 10.35V ตอบ

สมการกำลังไฟฟ้าเอาท์พุต

$$P_{o(ac)} = \left[\frac{I_C(peak)}{\sqrt{2}}\right]^2 \cdot R_C$$

$$I_C(peak) = \beta \cdot I_B(peak)$$

$$= 25 \times 10mA(peak)$$

$$I_C(peak) = 250mA(peak)$$ ตอบ

แทนค่าลงในสมการกำลังไฟฟ้าเอาท์พุต

$$P_{o(ac)} = \left[\frac{I_C(peak)}{\sqrt{2}}\right]^2 \cdot R_C$$

$$= \left[\frac{250mA}{\sqrt{2}}\right]^2 \times 20\Omega$$

$$P_{o(ac)} = 0.625\ W$$ ตอบ

สมการกำลังไฟฟ้าอินพุต

$$P_{i(dc)} = V_{CC} \cdot I_{CQ}$$

$$= 20V \times 482.5\ mA$$

$$P_{i(dc)} = 9.65\ W$$ ตอบ

ค่าประสิทธิภาพของวงจร

$$\%\eta = \frac{P_{o(ac)}}{P_{i(dc)}} \times 100$$

$$= \frac{0.625W}{9.65W} \times 100$$

$$\%\eta = 6.48\ \%$$ ตอบ

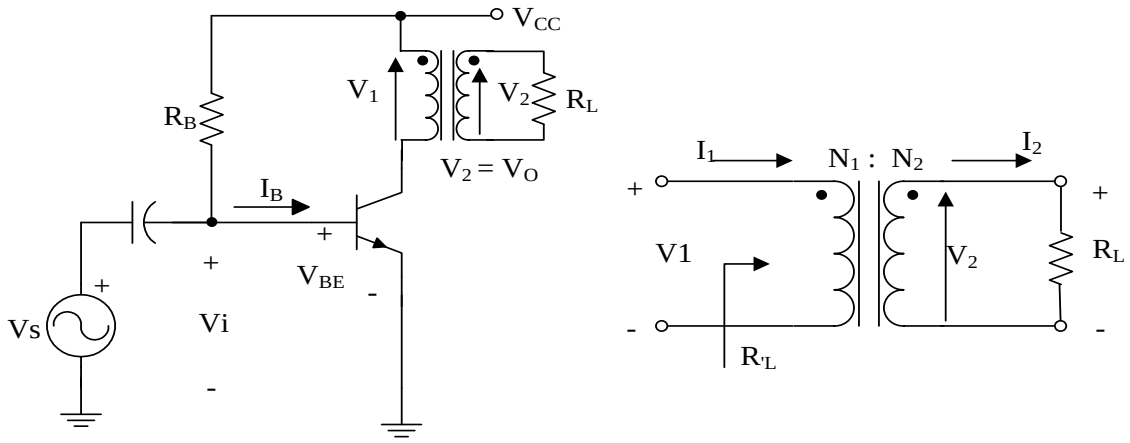
กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Power dissipation)

$$P_Q = P_{i(dc)} - P_{o(ac)}$$

$$= 9.65W - 0.625W$$

$$P_Q = 9.025W$$ ตอบ

11.1.1 การทำงานของวงจรขยายแบบต่อโหลดด้วยหม้อแปลง
(Transformer Coupled Power Amplifier)



รูปที่ 11.3 การต่อแบบโหลดด้วยหม้อแปลง

ความสัมพันธ์ของความต้านทานระหว่างขดลวด

กำหนดให้ ความต้านทานทาง ขดลวดปฐมภูมิ (primary) R'_L และ ความต้านทานทาง ขดลวดทุติยภูมิ (secondary) R_L

$$\frac{R'_L}{R_L} = \frac{V_1 / I_1}{V_2 / I_2}$$

$$= \frac{V_1 \cdot I_2}{V_2 \cdot I_1}$$

$$\frac{R'_L}{R_L} = \frac{N_1 \cdot N_1}{N_2 \cdot N_2}$$

$$\frac{R'_L}{R_L} = \left[\frac{N_1}{N_2}\right]^2 = a^2$$

$$R'_L = a^2 \cdot R_L$$

ตัวอย่างที่ 2 จงคำนวณหาค่า effective resistance R'_L ที่มองทางขดลวด primary ซึ่งหม้อแปลงมีอัตราส่วน 15 : 1 ถูกต่อด้วยโหลด 8Ω

$$R'_L = a^2 \cdot R_L$$
$$= 15^2 \times 8\Omega$$
$$R'_L = 1.8\ k\Omega$$

ตัวอย่างที่ 3 จงหาค่าอัตราส่วน turn ratio ของหม้อแปลงเพื่อให้ match กับโหลดลำโพง 16 Ω มี effective resistance 10 kΩ

วิธีทำ

$$\left[\frac{N_1}{N_2}\right]^2 = \frac{R'_L}{R_L}$$
$$= \frac{10k\Omega}{16\Omega}$$
$$\left[\frac{N_1}{N_2}\right]^2 = 625$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \sqrt{625}$$
$$= 25$$
$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{25}{1}$$

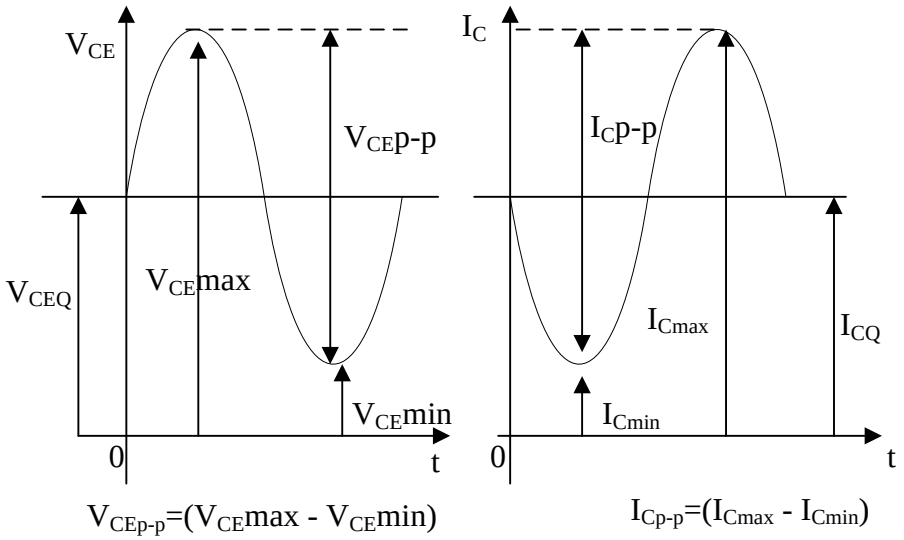
$$N_1 : N_2 = 25 : 1$$

11.1.2 การพิจารณาจุดทำงาน (Quiescent operating point)

จุดทำงานหรือจุด Q-point บนกราฟคุณลักษณะทางเอาท์พุต เป็นจุดตัดของเส้นโหลด dc กับ I_B ส่วนกระแสคอลเลกเตอร์ที่จุด Q หรือ I_{CQ} ได้จากการลากเส้นแนวนอนจากจุด Q มาตัดกับแกน I_C

เส้นโหลด ac (ac Load Line)

ในการวิเคราะห์ ac ต้องหาค่า R'_L ก่อนแล้วเขียนเส้นโหลด ac ที่มีความชัน $-1/R'_L$ บนกราฟคุณลักษณะทางเอาท์พุต โดยผ่านจุด Q



รูปที่ 11.4 สัญญาณการสวิงของกระแสและแรงดันไฟฟ้า

จากรูป

$$V_{CE}(p\text{-}p) = V_{CE}max - V_{CE}min$$

$$I_C(p\text{-}p) = I_C max - I_C min$$

Po(ac) ที่ขดลวดปฐมภูมิ

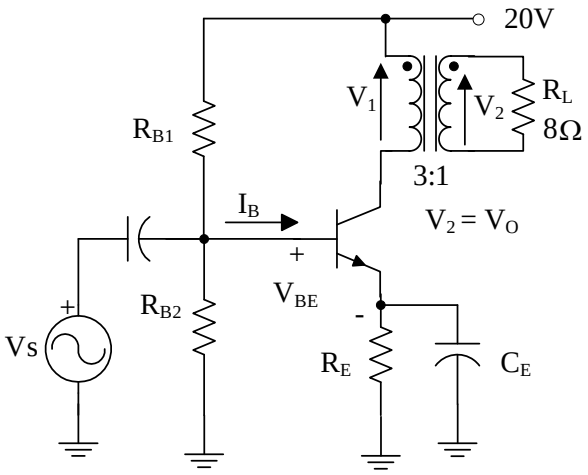
$$Po(ac) = \frac{I_C(p-p) \cdot V_{CE}(p-p)}{8}$$

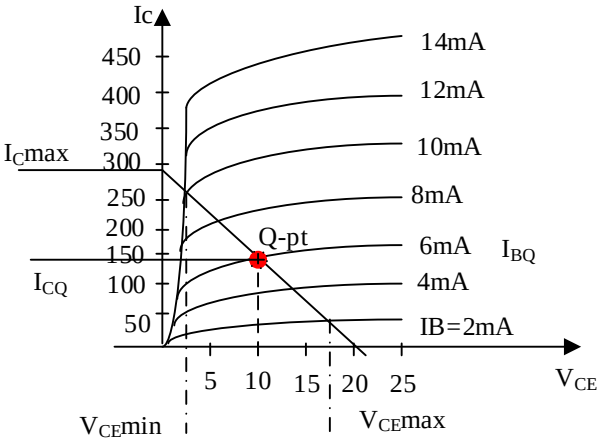
$$Po(ac) = \frac{(I_C max - I_C min) \cdot (V_{CE}max - V_{CE}min)}{8}$$

พิจารณาในด้านอุดมคติ Po(ac) ที่ขดลวดทุติยภูมิ

$$Po(ac) = \frac{(I_C max - I_C min) \cdot (V_{CE} max - V_{CE} min)}{8}$$

ตัวอย่างที่ 4 จากรูปจงหาค่า Po(ac) ที่ป้อนไปยังโหลดลำโพง 8Ω ถ้า I_B = 6 mA และ Vi สร้างสัญญาณ I_B สวิงโดยมีค่า 4 mA(peak)





วิธีทำ

$$V_{CEQ} = V_{CC} = 10V$$

ที่กระแส I_B = 6 mA จะได้กระแส I_{CQ} = 140 mA

$$R'_L = a^2 \cdot R_L$$

$$= 3^2 \times 8\Omega$$

$$R'_L = 72\Omega$$ ตอบ

ขั้นตอนการเขียน ac load line ที่ความชัน $\frac{-1}{R_L}$

1. $I_C = \frac{V_{CE}}{R'_L}$

$$I_C = \frac{10V}{72\Omega}$$

I_C = 139 mA ตอบ

2. หาจุดตัดบนแกน y

$I_{CQ} + I_C$ = 140mA + 139 mA

$I_{CQ} + I_C$ = 279 mA

3. ลากเส้นตรงลงมาจากจุดตัดแกน y ผ่านจุด Q – point อ่านค่าออกมา

V_{CE} min = 1.7 V

V_{CE}max = 18.3 V

$I_C$min = 25mA

$I_C$max = 255mA

จากสมการกำลังไฟฟ้าเอาท์พุต

$$Po(ac) = \frac{(I_C max - I_C min) \cdot (V_{CE} max - V_{CE} min)}{8}$$

$$= \frac{(18.3V - 1.7V) \times (255mA - 25mA)}{8}$$

Po(ac) = 0.477W

จากสมการกำลังไฟฟ้าอินพุต

Pi(dc) = $V_{CC} \cdot I_{CQ}$

= 10V×140mA

Pi(dc) = 1.4w ตอบ

จากสมการกำลังไฟฟ้าสูญเสีย

P_Q = Pi(dc) - Po(ac)

= 1.4W - 0.477W

P_Q = 0.92W ตอบ

ค่าประสิทธิภาพของวงจร

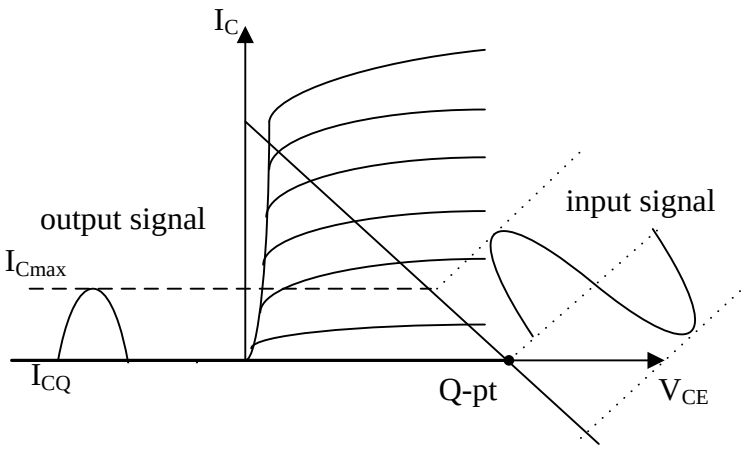
$$\%\eta = \frac{Po(ac)}{Pi(dc)} \times 100$$

$$= \frac{0.477W}{1.4W} \times 100$$

$$\%\eta = 34.3\ \%$$ ตอบ

11.2 วงจรขยายชนิด Class – B

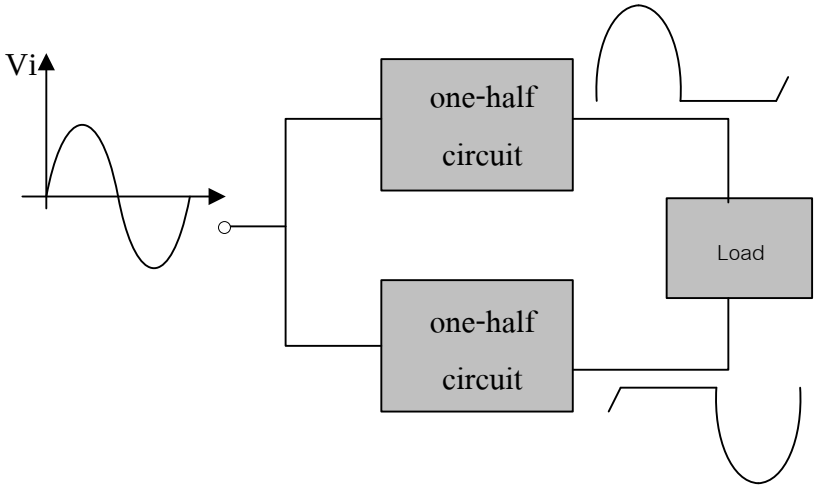
เป็นการกำหนดจุดทำงานของทรานซิสเตอร์โดยให้ค่ากระแส I_B ต่ำ ๆ ยังไม่ให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน เพื่อลดปัญหาความร้อนสะสมที่ตัวทรานซิสเตอร์ แต่สัญญาณที่ได้ทางเอาท์พุตจะได้เพียงซีกเดียว และไม่ครบ 180 องศาเพราะจะใช้สัญญาณทางอินพุตมาเพิ่มค่าค่ากระแส I_B ให้สูงขึ้นเพื่อจะให้ ทรานซิสเตอร์ทำงาน เมื่อไม่มีสัญญาณทางอินพุต ทรานซิสเตอร์ก็จะหยุดทำงาน ดังรูปกราฟด้านล่าง



รูปที่10.5 กราฟคุณสมบัติของวงจรขยายคลาส B

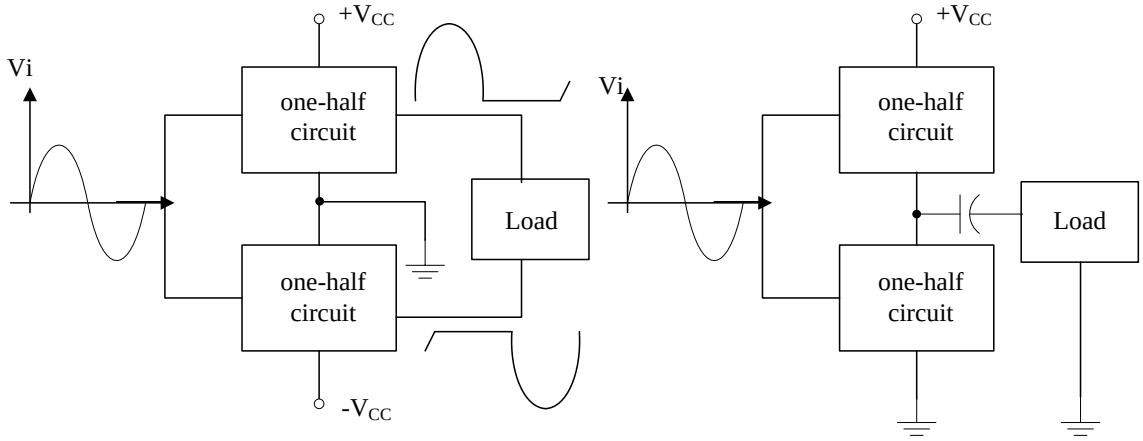
จากกราฟคุณสมบัติถ้าต้องการให้ได้สัญญาณทางเอาท์พุตเต็มรูปคลื่นทั้งซีกบวกและซีกลบจะต้องใช้ ตัวขยายสัญญาณหรือทรานซิสเตอร์ 2 ตัวผลัดกันทำงาน

การทำงานของวงจรขยายแบบ Class – B แบบนี้เรียกว่าวงจรขยาย Class – B แบบวงจรพุชพูล (push-pull) ดังบล็อกไดอะแกรมด้านล่าง



รูปที่ 11.6 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน วงจรขยาย Class – B แบบ push – pull

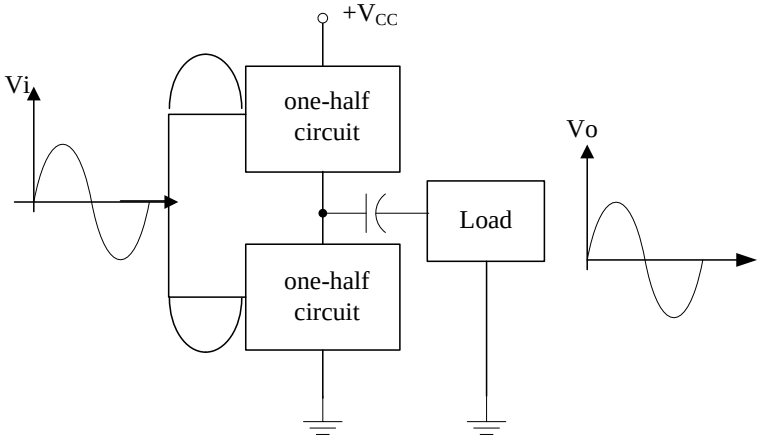
จากบล็อกไดอะแกรมสามารถจัดวงจรได้ 2 แบบขึ้นอยู่กับการต่อกับแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงวงจรดังบล็อกไดอะแกรมด้านล่าง



ก. ใช้แหล่งจ่ายไฟ 2 ชุด ข. ใช้แหล่งจ่ายไฟ 1ชุด

รูปที่ 11.7 การต่อวงจร push-pull เข้ากัน load

11.3.1 วงจรขยาย class-B กรณี แหล่งจ่ายไฟ 1 ชุด



รูปที่ 11.8 วงจร push-pull แหล่งจ่ายไฟ 1 ชุด

การทำงานของวงจรจะเห็นว่าสัญญาณอินพุตจะถูกต่อเข้ากับอินพุตของวงจรทั้ง 2 โดยตรง วงจรที่ 1 ด้านบน จะทำงานที่สัญญาณอินพุตซีกบวก ส่วนวงจรที่ 2 อยู่ด้านล่างจะทำงานที่สัญญาณอินพุตซีกลบ

สัญญาณที่ได้ทางเอาท์พุตก็จะได้ 1 ลูกคลื่นตรงกับทางอินพุตพอดี ก็จะมีความผิดเพี้ยนของสัญญาณที่ช่วงที่สัญญาณเปลี่ยนจากค่าแรงดันจากซีกบวกมาซีกลบและจากซีกลบมาซีกบวกเรียกว่า Cross over distortion

การพิจารณาค่ากำลังไฟฟ้าทางอินพุต

$$P_{i(dc)} = V_{CC} \cdot I_{dc}$$

ซึ่งจะเห็นว่าสัญญาณอินพุต 1 ไซเคิล ในแต่ละวงจรจะได้สัญญาณซีกเดียว สัญญาณที่ได้ก็จะเหมือนกับสัญญาณที่ได้จากวงจรครึ่งคลื่น หาค่าเฉลี่ยของสัญญาณ ตามสมการคณิตศาสตร์ ได้ดังนี้

$$I_{dc} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^{\pi} i(t)dt$$

$$= \frac{1}{\pi} \cdot \int_0^{\pi} I_m Sinwtdwt$$

$$= \frac{1}{\pi} \cdot (-Coswt) \Big|_0^{\pi}$$

$$I_{dc} = \frac{2I_m}{\pi}$$

$I_m = Ip$

$$I_{dc} = \frac{2Ip}{\pi}$$

แทนค่าลงในสมการกำลังไฟฟ้าได้ดังนี้

$$Pi(dc) = \frac{V_{CC} \times 2Ip}{\pi}$$

กำลังไฟฟ้าที่เอาท์พุต ที่จะจ่ายให้กับ load ได้ดังนี้

$$Po(ac) = \frac{V_L^{\,2}(rms)}{R_L}$$

$$= \frac{V_L^{\,2}(p-p)}{8 \cdot R_L}$$

$$Po(ac) = \frac{V_L^{\,2}(p)}{2 \times R_L}$$

หาค่าประสิทธิภาพ

$$\%\eta = \frac{Po(ac)}{Pi(dc)} \times 100$$

หาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ทรานซิสเตอร์ทั้ง 2 ตัว

$$P_{2Q} = Pi(dc) - Po(ac)$$

หาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ทรานซิสเตอร์ แต่ละ ตัว

$$P_Q = \frac{P_{2Q}}{2}$$

ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของวงจร

ค่ากำลังไฟฟ้าที่เอาท์พุตสูงสุด จะเกิดเมื่อ $V_L(p) = V_{CC}$

$$Po(ac) = \frac{V_L^2(p)}{2 \cdot R_L}$$

$$Po(ac) = \frac{V^2cc}{2 \times R_L}$$

ค่ากระแสสูงสุดที่ load

$$Ipeak = \frac{V_L(p)}{R_L}$$

$$Ipeak = \frac{V_{CC}}{R_L}$$

จากสูตรสมการกระแส

$$I_{dc} = \frac{2Ip}{\pi}$$

สูตรสมการกระแสสูงสุด

$$I_{dc} = \frac{2 \times V_{CC}}{\pi \cdot R_L}$$

ค่ากำลังไฟฟ้าที่อินพุตสูงสุด

$$Pi\ (dc) = V_{CC} \cdot Idc$$

$$= V_{CC} \times \frac{2 \times V_{CC}}{\pi \cdot R_L}$$

$$Pi\ (dc) = \frac{2 \times V^2cc}{\pi \cdot R_L}$$

หาค่าประสิทธิภาพสูงสุด

$$\% \ \eta = \frac{Po(ac)}{Pi(dc)} \times 100$$

แทนค่าสมการกำลังไฟฟ้าสูงสุด

$$\% \ \eta = \frac{V^2cc / 2 \times R_L}{2V^2cc / \pi \cdot R_L} \times 100$$

$$= \frac{\pi}{4} \times 100$$

$$\% \ \eta \ (max) = 78.54 \ \%$$

กำลังไฟฟ้าสูญเสีย สูงสุด

$$V_L(p) = \frac{2 \times V_{CC}}{\pi}$$

$$P_D = Pi - P_L$$

จากสมการกำลังไฟฟ้าสูงสุด

$$Po(ac) = \frac{V_L^{\ 2}(p)}{2 \cdot R_L}$$

$$Pi \ (dc) = \frac{2 \times V^2cc}{\pi \cdot R_L}$$

แทนค่าลงในสมการกำลังไฟฟ้าสูญเสียได้ดังนี้

$$P_D = \frac{2V_{CC} \times V_L(p)}{\pi \cdot R_L} - \frac{V^2_L(p)}{2 \cdot R_L}$$

จากค่าแรงดันสูงสุด

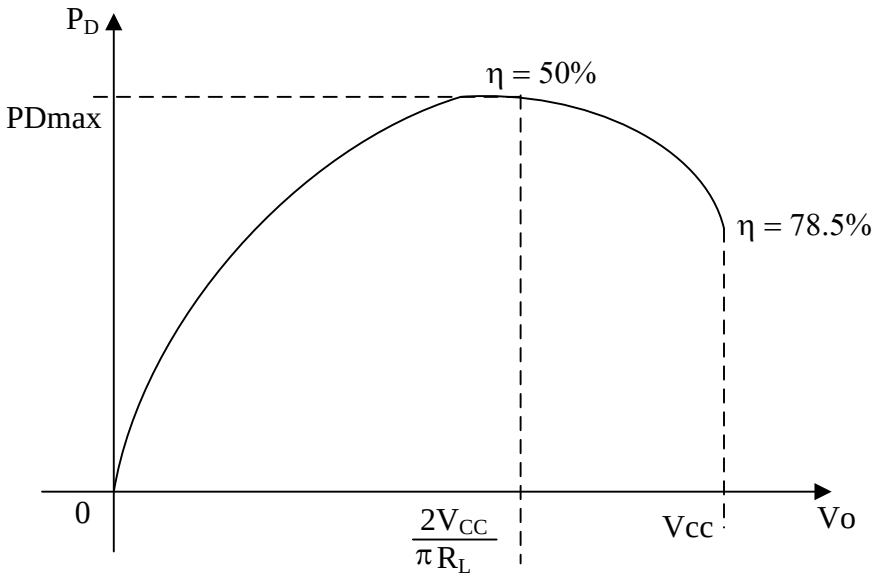
$$V_L(p) = \frac{2 \times V_{CC}}{\pi}$$

แทนค่าลงในสมการ

$$P_D = \frac{2V_{CC} \times 2V_{CC}}{\pi \cdot \pi \cdot R_L} - \frac{4 \times V^2_{CC}}{2 \times \pi^2 R_L}$$

$$= \frac{4V^2_{CC}}{\pi^2 R_L} - \frac{2V^2_{CC}}{\pi^2 R_L}$$

$$\text{Maximumn } P_{2Q} = \frac{2V^2_{CC}}{\pi^2 R_L}$$



รูปที่ 11.7 กราฟการเกิดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย (power dissipated)

ตัวอย่างที่ 5 ให้หา input power , output power and Efficiency ของ class-B Amplifier ได้สัญญาณ 20 Vp ที่ load 16 โอห์ม ใช้ single supply , V = 30 v

วิธีทำ

$$P_{i(dc)} = V_{CC} \cdot I_{dc}$$

$$I_{dc} = \frac{2I_p}{\pi}$$

$$I_p = \frac{V_{L(p)}}{R_L} = \frac{20V}{16\Omega}$$

$$I_p = 1.25A \quad \text{ตอบ}$$

แทนค่าลงในสมการกระแส I_{dc} ได้ดังนี้

$$I_{dc} = \frac{2 \times 1.25A}{3.14}$$

$$I_{dc} = 0.796\ A \quad \text{ตอบ}$$

แทนค่าลงในสมการกำลังไฟฟ้าอินพุต Pi ได้ดังนี้

$$P_{i(dc)} = 30V \times 0.796A = 23.9\ W \quad \text{ตอบ}$$

แทนค่าลงในสมการกำลังไฟฟ้าเอาท์พุต Po ได้ดังนี้

$$P_{o(ac)} = \frac{V_L^2(p)}{2 \times R_L} = \frac{(20)^2}{2 \times 16\Omega}$$

$$P_{o(ac)} = 12.5\ W \quad \text{ตอบ}$$

$$\% \ \eta = \frac{P_{o(ac)}}{P_{i(dc)}} \times 100 = \frac{12.5W}{23.9W} \times 100$$

$$\% \ \eta = 52.3\ \% \quad \text{ตอบ}$$

ตัวอย่างที่ 6 ให้หาค่า maximumn power ของ class-B Amplifier ใช้ power supply V_{CC} = 30 v และ Load 16 โอห์ม

วิธีทำ

$$\text{Maximumn Po (ac)} = \frac{V^2cc}{2 \times R_L}$$

$$= \frac{(30V)^2}{2 \times 16\Omega}$$

$$\text{Po(ac)} = 28.125 \text{ W.} \quad \text{ตอบ}$$

$$\text{maximumn Pi (dc)} = V_{CC} \cdot Idc$$

$$= \frac{2 \times V^2cc}{\pi \times R_L}$$

$$= \frac{2 \times (30V)^2}{\pi \times 16\Omega}$$

$$\text{Pi (dc)} = 35.81 \text{ W.} \quad \text{ตอบ}$$

$$\%\ \eta = \frac{Po(ac)}{Pi(dc)} \times 100$$

$$= \frac{28.125W}{35.81W} \times 100$$

$$\%\ \eta = 78.54\ \% \quad \text{ตอบ}$$

$$\text{Maximum } P_{2Q} = \frac{2V^2cc}{\pi^2 R_L}$$

$$= \frac{2(30V)^2}{\pi^2 \times 16\Omega}$$

$$\text{Maximum } P_{2Q} = 1.4 \text{ W.} \quad \text{ตอบ}$$

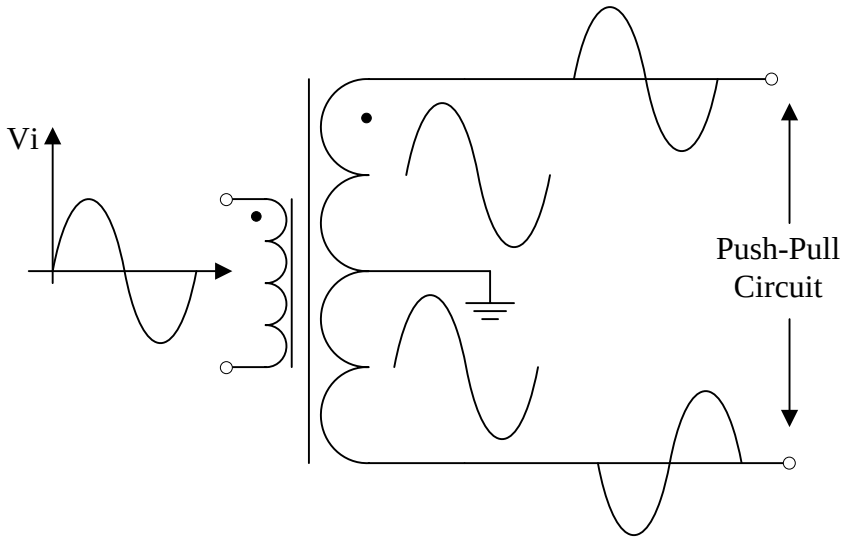
$$PQ = 0.7 \text{ W. (คิดแต่ละตัว)} \quad \text{ตอบ}$$

11.2.1 รูปแบบการจัดวงจรขยายแบบคลาส B

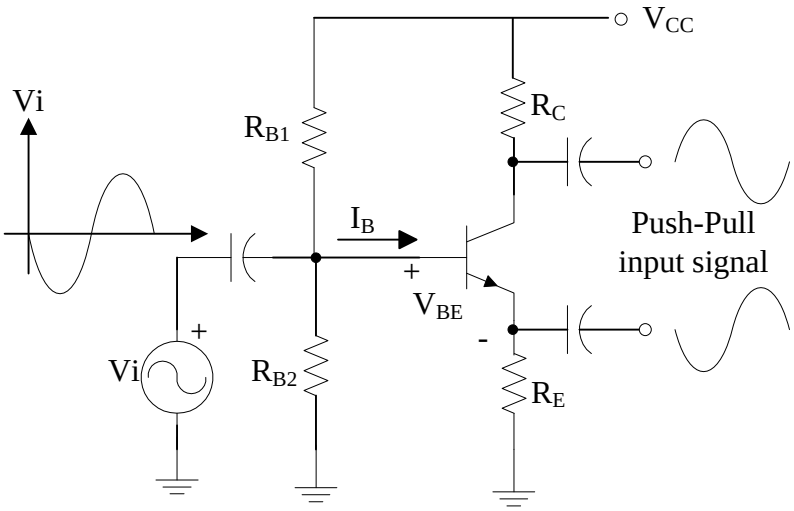
การต่อวงจรขยายคลาส B ทำได้หลายแบบในที่นี้จะพิจารณาวงจรที่นิยมกัน

1. วงจร Push – Pull แบบใช้หม้อแปลง
2. Complementary – Symmetry Push – Pull Circuit
3. Quasi- Complementary – Symmetry Push – Pull Circuit

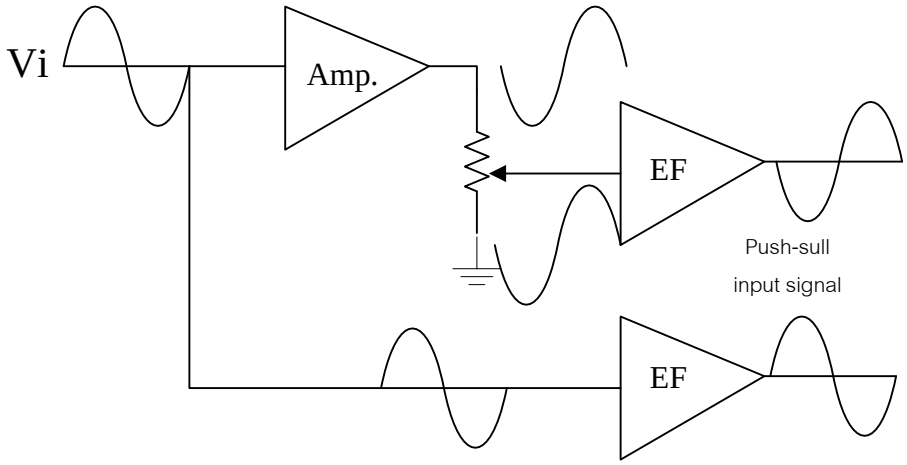
สัญญาณอินพุตของวงจรบางประเภทเป็นสัญญาณที่มีเฟสตรงข้ามกัน 2 สัญญาณดังนั้น จึงควรรู้วิธีการกลับเฟสของสัญญาณอินพุตเสียก่อน ดังตัวอย่างวงจร



รูป ก) แบบใช้หม้อแปลง



รูป ข) ใช้ทรานซิสเตอร์



รูป ค) แบบไอซีออปแอมป์

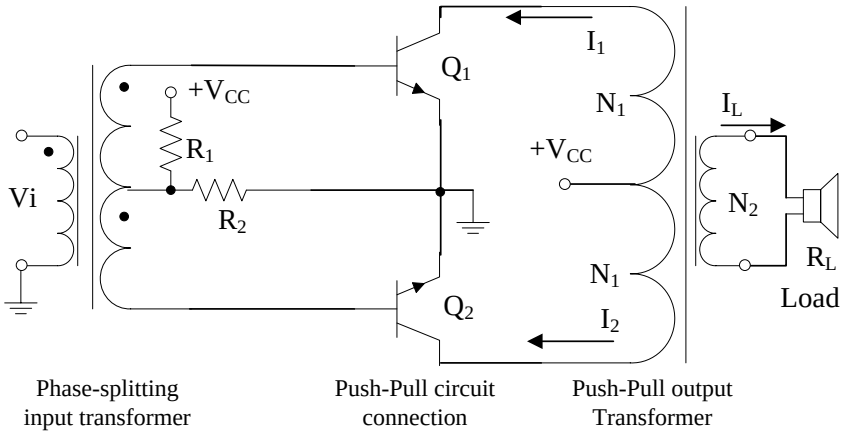
รูปที่ 11.8 การจัดวงจร Push – Pull แบบต่างๆ

รูป ก) แสดงการกลับเฟสโดยใช้หม้อแปลงแบบ center tapped ถ้าหม้อแปลงมีการต่อแทปกึ่งกลางอย่างแท้จริง สัญญาณอินพุตทั้ง 2 ของวงจร Push – Pull จะมีเฟสตรงข้ามกันและขนาดเท่ากัน

รูป ข) แสดงการกลับเฟสสัญญาณโดยใช้ทรานซิสเตอร์ที่มีสัญญาณเอาท์พุตที่ขา อีมิตเตอร์ อินเฟสกับสัญญาณอินพุต ส่วนสัญญาณที่ขา คอลเลคเตอร์ กลับเฟสกับสัญญาณอินพุต ก็เลยต้องมีการเพิ่มวงจร Emitter Follower เป็น 2 วงจรโดยไม่ต้องใช้สัญญาณที่ขา คอลเลคเตอร์

รูป ค) แสดงการกลับเฟสสัญญาณโดยใช้ออปแอมป์หลายสเตจ สัญญาณที่ผ่านออปแอมป์ที่มีอัตราขยายเท่ากับ 1 แบบกลับเฟส ส่งต่อไปยังวงจรที่มีอัตราขยายเท่ากับ 1 แบบไม่กลับเฟส 2 วงจรเพื่อส่งไปขับวงจร Push – Pull

11.2.2 วงจร Push – Pull แบบใช้หม้อแปลง

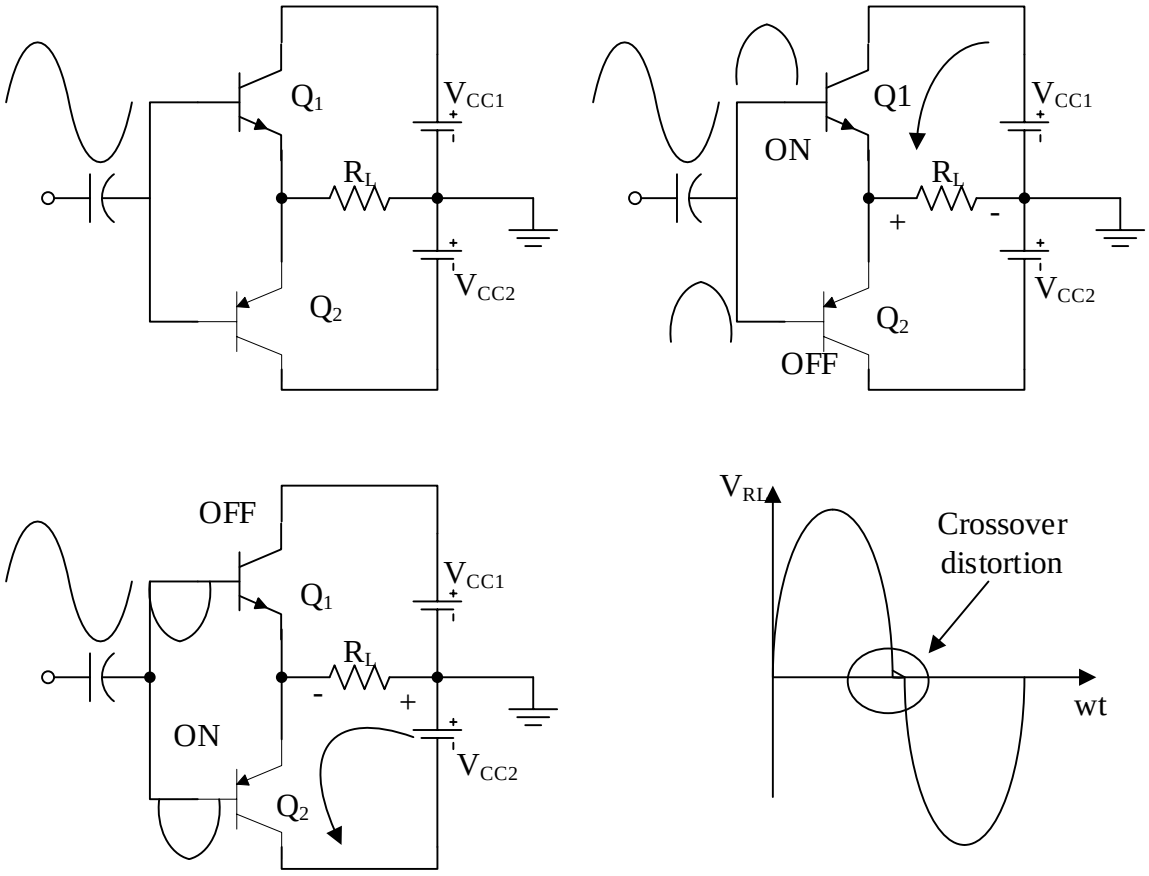


รูปที่ 11.9 การจัดวงจร Push – Pull แบบใช้หม้อแปลง

เมื่อสัญญาณช่วงบวกเข้ามาทรานซิสเตอร์ Q_1 จะถูกไบอัสตรงส่วนทรานซิสเตอร์ Q_2 ถูกไบอัสกลับจะไม่ทำงาน กระแสก็จะไหลผ่านโหลดผ่านทรานซิสเตอร์ Q_1 เกิดสัญญาณขึ้นช่วงบวกที่โหลดและเมื่อสัญญาณช่วงลบเข้ามาทรานซิสเตอร์ Q_2 ถูกไบอัสตรงส่วนทรานซิสเตอร์ Q_1 ถูกไบอัสกลับจะไม่ทำงาน กระแสก็จะไหลผ่านโหลดผ่านทรานซิสเตอร์ Q_2 เกิดสัญญาณขึ้นช่วงลบที่โหลด เมื่อครบ 1 ไซเคิลสัญญาณที่เอาท์พุตก็จะได้เหมือนกับอินพุต

11.2.2.1 Complementary – Symmetry Push – Pull Circuit

เป็นการกำจัดสัญญาณรบกวน(noise) ที่เกิดจากtransformer โดยการเลือกใช้ Complementary transistor NPN และ PNP มาแทนที่ของ output transformer และใช้ input signal ต่อเข้าที่ เบสของทรานซิสเตอร์ทั้ง 2 ดังการทำงาน



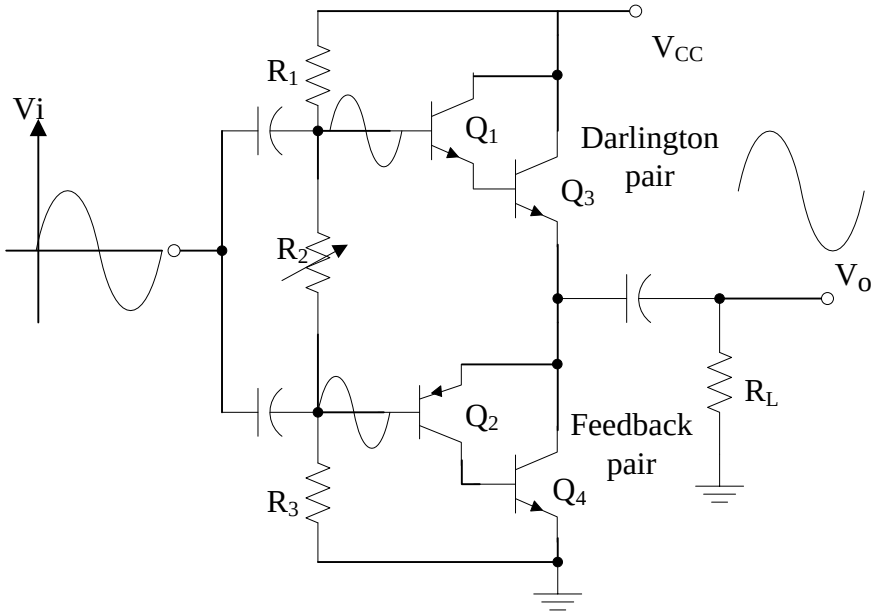
รูปที่ 11.10 การทำงานของวงจร Complementary – Symmetry Push – Pull Circuit

ข้อเสีย วงจรนี้จะใช้ supply 2 ชุด แต่ข้อเสียที่สำคัญคือเกิด Cross Over Distortion ซึ่งจะเกิดในช่วงการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณจาก + → - และจาก - → + หรือเรียกว่า Zero crossing ซึ่งเกิดจากการ on , off ของทรานซิสเตอร์ไม่สมบูรณ์

เพื่อที่จะลดค่า Zero crossing ก็โดยการเลื่อนจุดไบอัสทรานซิสเตอร์ เพื่อให้ได้สัญญาณมาก กว่าครึ่งไซเคิล ในทางปฏิบัติจะต้องมีอุปกรณ์(complement) เพิ่มที่ขาเบส

ข้อสังเกตุ โหลดที่ต่อทางเอาท์พุตของวงจรจะต้องมีความต้านทานต่ำ เพราะเป็นวงจร Emitter Folllower เพื่อจะได้ match กับความต้านทานของ output stage ในส่วนของทรานซิสเตอร์ก็เปลี่ยนเป็นวงจร Darlington ซึ่งก็มีความต้านทานต่ำเหมือนกัน

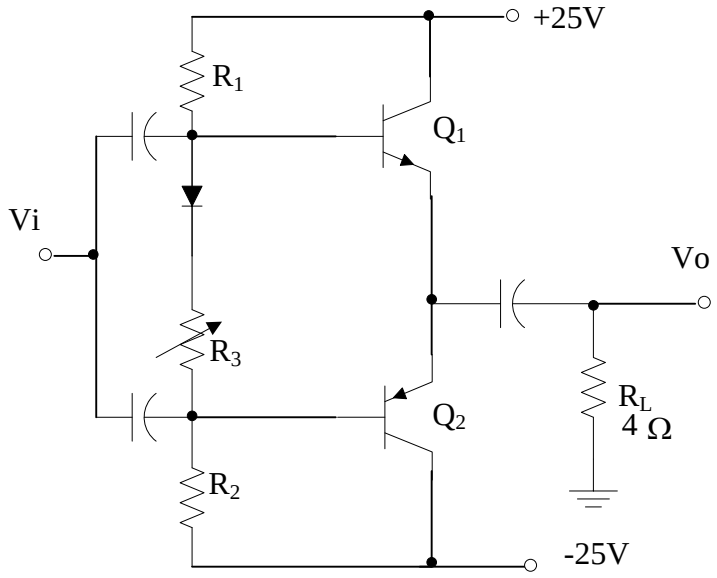
11.2.2.2 Quasi- Complementary – Symmetry Push – Pull Circuit



รูปที่ 11.11 การจัดวงจร Quasi- Complementary – Symmetry Push – Pull Circuit

จากรูปทรานซิสเตอร์ Q_1 และ ทรานซิสเตอร์ Q_2 เป็น Complementary transistor ส่วนทรานซิสเตอร์ Q_3 และทรานซิสเตอร์ Q_4 เป็น power transistor จะเห็นว่าทรานซิสเตอร์ Q_1 กับทรานซิสเตอร์ Q_3 จะต่อกันแบบ Darlington ส่วนทรานซิสเตอร์ Q_2 และทรานซิสเตอร์ Q_4 เป็น Feedback pair ส่วนตัวต้านทาน R_2 เป็นตัวปรับ Zero crossing ให้น้อยลง

ตัวอย่างที่ 7 จงคำนวณหาค่าเพาเวอร์เอาท์พุต Po(ac) เพาเวอร์อินพุต Pi(dc) และเพาเวอร์สูญเสีย PQ ถ้ากำหนดให้สัญญาณที่อินพุต Vi = 12V(rms)



วิธีทำ

$$Vi(p) = \sqrt{2} \times Vi(rms)$$

$$= \sqrt{2} \times 12V$$

$$Vi(p) = 16.69\ V \cong 17\ V \quad \text{ตอบ}$$

ในทางอุดมคติวงจรขยายมีเกนเท่ากับ 1 แรงดันคล่อมโหลดมีค่าเท่าแรงดันที่อินพุต

$$V_L(p) = 17V$$

$$Po(ac) = \frac{V_L^2(p)}{2 \times R_L}$$

$$= \frac{(17V)^2}{2 \times 4\Omega}$$

$$Po(ac) = 36.125W \quad \text{ตอบ}$$

$$I_L(p) = \frac{V_L(p)}{R_L}$$

$$= \frac{17V}{4\Omega}$$

$$I_L(p) = 4.25A \quad \text{ตอบ}$$

$$I_{dc} = \frac{2Ip}{\pi}$$

$$= \frac{2 \times 4.25A}{\pi}$$

$$I_{dc} = 2.71\ A$$

$$Pi\ (dc) = V_{CC} \cdot Idc$$

$$= 25V \times 2.71A$$

$$= 67.75\ W. \quad \text{ตอบ}$$

$$P_Q = \frac{P_{2Q}}{2}$$

$$= \frac{P_i - P_Q}{2}$$

$$= \frac{67.75W - 36.125W}{2}$$

$$P_Q = 15.8\ W. \quad \text{ตอบ}$$

ถ้าพิจารณาแบบ Maximum $V_L(p) = V_{CC}$

$$Po(ac)\ Max = \frac{V^2cc}{2 \times R_L}$$

$$= \frac{(25V)^2}{2 \times 4\Omega}$$

$$Po(ac)\ Max = 78.125W. \quad \text{ตอบ}$$

$$Pi\ (dc)\ max = V_{CC} \times Idc$$

$$= \frac{2 \times V^2cc}{\pi \times R_L}$$

$$= \frac{2 \times (25V)^2}{\pi \times 4\Omega}$$

$$Pi\ (dc)\ max = 99.47\ W \quad \text{ตอบ}$$

$$\% \ \eta = \frac{Po(ac)}{Pi(dc)} \times 100$$

$$= \frac{78.125W}{99.47W} \times 100$$

$$\% \ \eta = 78.54\% \quad \text{ตอบ}$$

ตัวอย่างที่ 8 จงออกแบบวงจร class B Amplifier ที่ได้ average power 20 Wที่ load 8 Ω เลือก power supply มากกว่า peak output voltage 5 V) ให้คำนวณหาค่า supply voltage , กระแสสูงสุดที่ได้จาก supply แต่ละตัว efficiency และ maximum power dissipation ของ transistor

วิธีทำ

$$Po(ac) = \frac{V_L^{\ 2}(p)}{2 \times R_L}$$

$$V_L(p) = \sqrt{2 \times P_L \cdot R_L}$$

$$= \sqrt{2 \times 20V \times 8\Omega}$$

$$V_L(p) = 17.9V \quad \text{ตอบ}$$

เลือก $V_{CC} = 23$ V

$$I_L(max) = \frac{V_L(p)}{R_L}$$

$$= \frac{17.9V}{8\Omega}$$

$$I_L(max) = 2.24 \text{ A} \quad \text{ตอบ}$$

$$Pi = V_{CC} \times Idc$$

$$= \frac{2V_{CC}I_{L(p)}}{\pi}$$

$$= \frac{2 \times 23V \times 2.24A}{\pi}$$

$$Pi = 32.81W. \quad \text{ตอบ}$$

$$P^{+}i = P^{-}i = 16.4 \text{ W.} \quad \text{ตอบ}$$

$$\% \ \eta = \frac{Po(ac)}{Pi(dc)} \times 100$$

$$= \frac{20W}{32.81W} \times 100$$

$$\% \ \eta = 61 \ \%$$

$$P_D = \frac{V^2cc}{\pi^2 R_L}$$

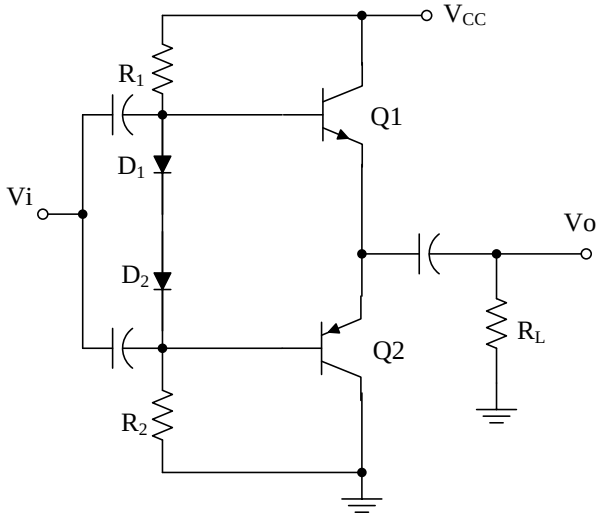
$$= \frac{(23V)^2}{\pi^2 \times 8\Omega}$$

$$P_D = 6.7W$$ ตอบ

11.3 วงจรขยายคลาส AB

วงจรขยายคลาส AB เป็นวงจรที่มีการไบอัสทรานซิสเตอร์ครึ่งไซเคิล (180°) ของสัญญาณอินพุต ซึ่งอาจทำให้เกิดความผิดเพี้ยนที่ช่วงต่อของสัญญาณเอาท์พุตได้ ปัญหาดังกล่าวจะลดลงถ้าดัดแปลงวงจรขยายคลาส B ให้ไบอัสทรานซิสเตอร์มากกว่า 180° ของสัญญาณอินพุต เราเรียกวงจรนี้ว่าวงจรขยายคลาส AB

จะทำงานที่กระแสและแรงดันมีค่าต่ำกว่าของวงจรขยาย Class – A ซึ่งโดยมากแล้ว ใน Class – B จะให้ทรานซิสเตอร์ ทำงานที่ค่ากระแส I_B และค่ากระแส I_C ต่ำๆ เพื่อลดปัญหาความร้อนสะสมที่ตัวทรานซิสเตอร์แต่สัญญาณที่ได้ทางเอาท์พุตจะได้เพียงซีกเดียว ไม่ครบ ดังรูปกราฟด้านล่าง

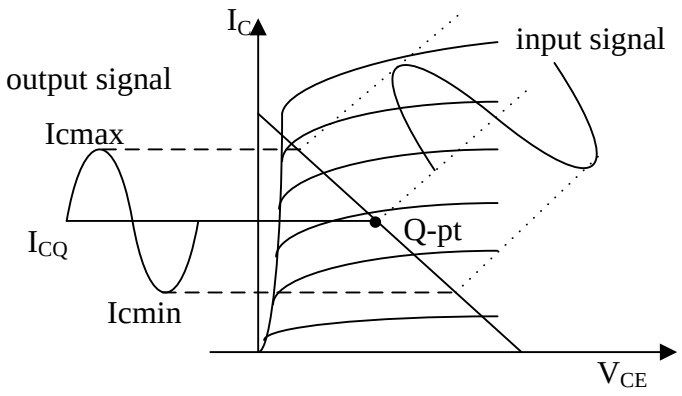


รูปที่ 11.12 วงจรขยายคลาส AB

จากรูปเป็นการจัดวงจรแบบสมมาตร แต่มีแรงดันไฟฟ้าตกคล่อมไดโอด 2 ตัว ช่วยในการไบอัสทรานซิสเตอร์กล่าวคือ ใช้แรงดันไฟฟ้าตกคล่อมไดโอดช่วยในการไบอัสระหว่างขั้ว B และ E ของ Q_1และ Q_2 ให้นำกระแสได้เล็กน้อยขณะไม่มีสัญญาณอินพุต ลักษณะเช่นนี้ทำให้เกอดการไบอัสทรานซิสเตอร์มากกว่า 180 องศาของสัญญาณอินพุต ซึ่งหมายถึงการเพี้ยนที่ช่วงรอยต่อของสัญญาณเอาท์พุตย่อมมีค่าลดลง

สรุปคุณสมบัติของแต่ละ Class

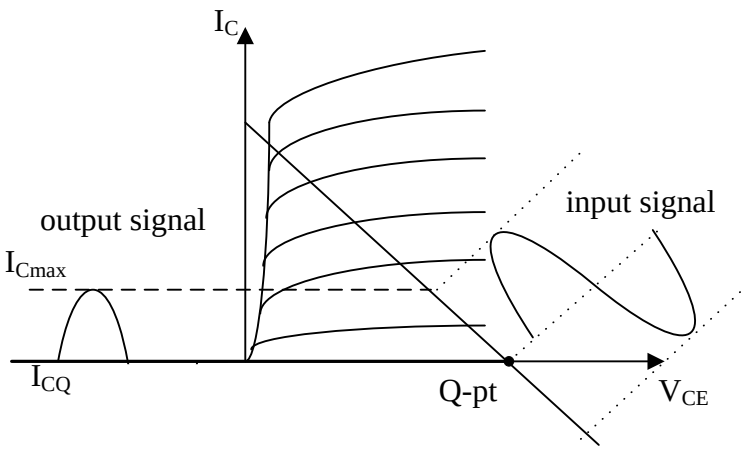
Class A



รูปที่ 11.13 คุณสมบัติของคลาส A

การทำงานของ Class A สัญญาณทาง output ที่ collector จะได้เต็มไซเคิล (360°) การเลือกจุดทำงานจะต้องไม่ทำให้ output signal เกินจุด IC(max) หรือ IC(min) ค่า power dissipated จะมีค่าลดลงเมื่อ input มีค่าเพิ่มขึ้น

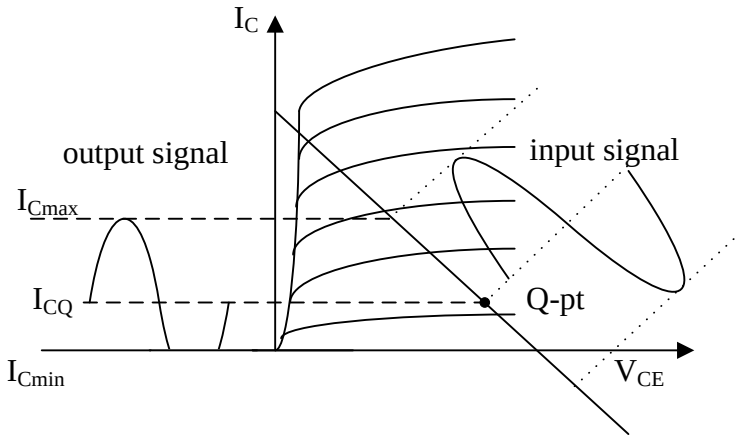
Class B



รูปที่ 11.14 คุณสมบัติของคลาส B

การทำงานของ Class B จะตั้งจุดทำงานอยู่ใกล้กับจุด Cutoff เพราะฉะนั้น output signal จะได้เพียงครึ่งไซเคิล (180°) การไบอัสแบบนี้จะยังไม่มี กระแสคอลเลคเตอร์ ดังนั้นจึงไม่มี power dissipated จนกว่าจะมีสัญญาณทาง input เข้ามา กระแสจะมีค่าเพิ่มขึ้น power dissipated ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นตาม

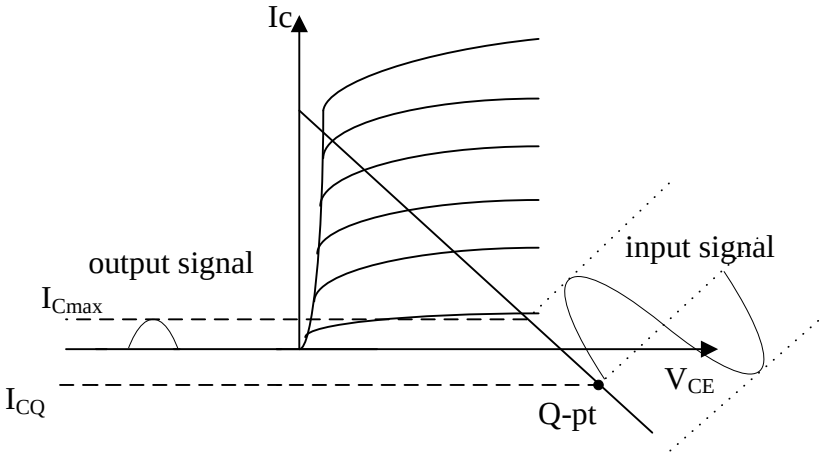
Class AB



รูปที่ 11.15 คุณสมบัติของคลาส AB

สัญญาณที่ได้ทาง output ใน 1 ไซเคิลจะได้มากกว่า 180° แต่น้อยกว่า 360° ค่าประสิทธิภาพสูงสุด จะอยู่ระหว่าง Class A กับ Class B ก็คืออยู่ระหว่าง 50% - 78.5% ค่า power dissipated ที่จุด Vi = 0 มีค่าน้อยกว่า Class A

Class C



รูปที่ 11.16 คุณสมบัติของคลาส C

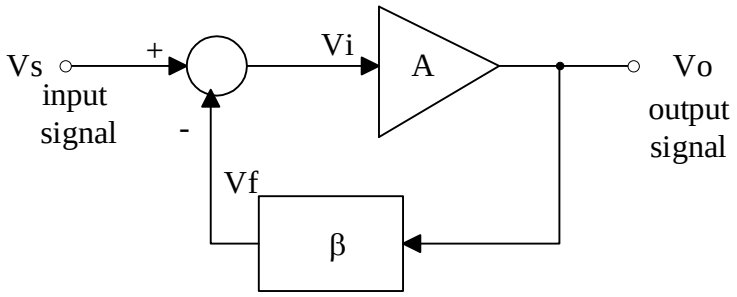
การทำงาน จะตั้งจุดทำงานไว้ต่ำกว่าจุด cutoff หรือกล่าวอีกอย่างคือ ไบอัสเป็นลบสัญญาณที่เอาท์พุตจะได้น้อยกว่า 180°

11.4 วงจรป้อนกลับ (Feedback Circuits)

การป้อนกลับ หมายถึง การที่มีสัญญาณเอาท์พุตป้อนไปยังด้านอินพุต การป้อนกลับนี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การป้อนกลับแบบลบ (Negative Feedback) และการป้อนกลับแบบบวก (Positive Feedback)

การป้อนกลับจะเป็นแบบใดนั้นขึ้นอยู่กับ ถ้าสัญญาณป้อนกลับมาหักล้างกับสัญญาณที่อินพุตและทำให้อัตราขยายลดลง ถือว่าเป็นการป้อนกลับแบบลบ แต่ถ้าสัญญาณป้อนกลับมาเสริมกับสัญญาณที่อินพุตและทำให้อัตราขยายเพิ่มขึ้น ถือว่าเป็นการป้อนกลับแบบบวก

11.4.1 หลักการป้อนกลับแบบลบ



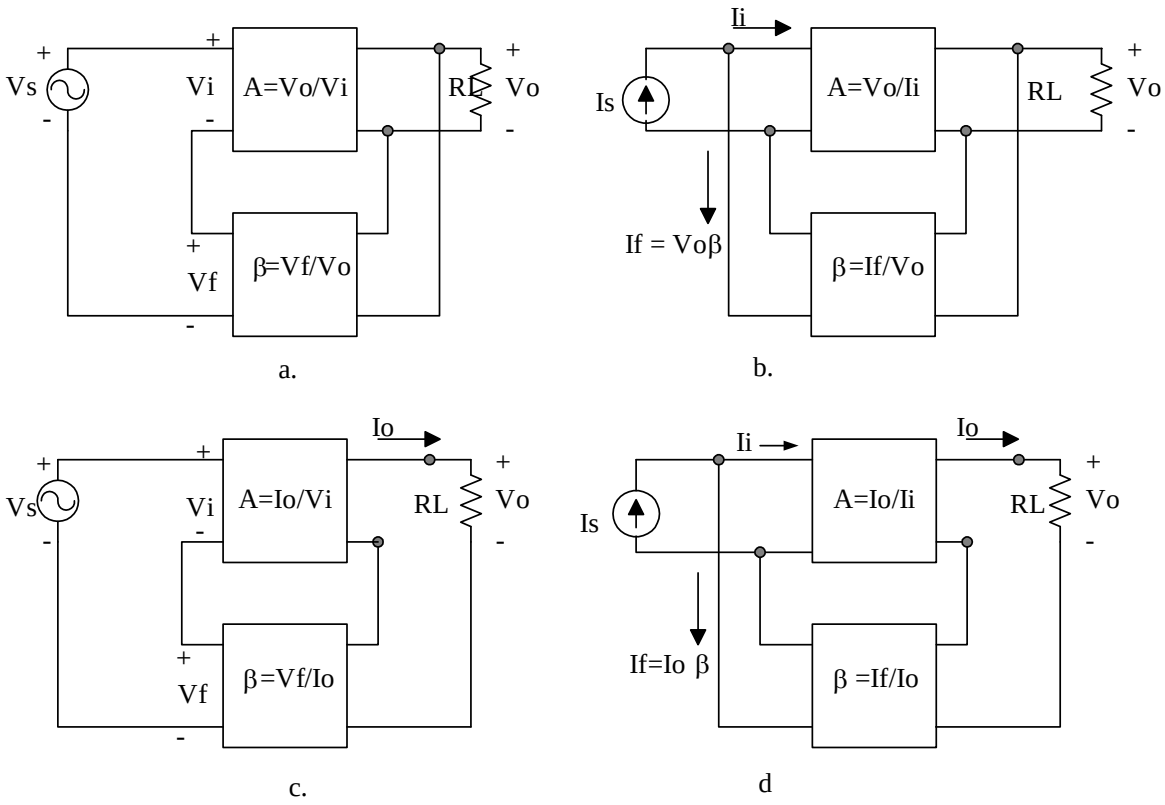
รูปที่ 11.17 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการป้อนกลับแบบลบ

จากรูปการป้อนกลับแบบลบจะประกอบด้วย

1. วงจรขยายหลักที่ให้อัตราขยาย A
2. วงจรป้อนกลับมีค่าตัวประกอบ β (Feedback factor)
3. องค์ประกอบเปรียบเทียบหรือผสมสัญญาณ (Comparator or Mixer)

ประเภทของการต่อป้อนกลับ

1. การป้อนกลับแรงดันแบบอนุกรม (Voltage-Series Feedback) ดังรูป a
2. การป้อนกลับแรงดันแบบขนาน (Voltage-Shunt Feedback) ดังรูป b
3. การป้อนกลับกระแสแบบอนุกรม (Current-Series Feedback) ดังรูป c
4. การป้อนกลับกระแสแบบขนาน (Current-Shunt Feedback) ดังรูป d



รูปที่ 11.18 บล็อกไดอะแกรมของวงจรป้อนกลับแบบต่าง ๆ

11.4.2 การป้อนกลับแรงดันแบบอนุกรม (Voltage-Series Feedback)

จุดสังเกตุจะมีแรงดันเอาท์พุตป้อนกลับเข้าสู่วงจรในลักษณะอนุกรมกับสัญญาณอินพุตซึ่งการหาค่าอัตราการขยายป้อนกลับ (Af) ได้ดังนี้

กรณีไม่มีการป้อนกลับ Vf = 0

$$A = \frac{Vo}{Vs} = \frac{Vo}{Vi}$$

กรณีมีการป้อนกลับ

$$Af = \frac{Vo}{Vs}$$

$$Vs = Vi + Vf$$

$$Vf = Vo \cdot \beta$$

$$Vs = Vi + Vo \cdot \beta$$

$$Vo = Vi \cdot A$$

$$Vs = Vi + Vi \cdot A \cdot \beta$$

$$= Vi\,(1 + A \cdot \beta)$$

$$Af = \frac{Vi \times A}{Vi(1 + A\beta)}$$

$$Af = \frac{A}{(1 + \beta A)}$$

11.4.3 การป้อนกลับแรงดันแบบขนาน (Voltage-Shunt Feedback)

$$Af = \frac{Vo}{Is} = \frac{A \times Ii}{Ii + If}$$

$$= \frac{A \times Ii}{Ii + \beta Vo}$$

$$= \frac{A \times Ii}{Ii + \beta \times A \times Ii}$$

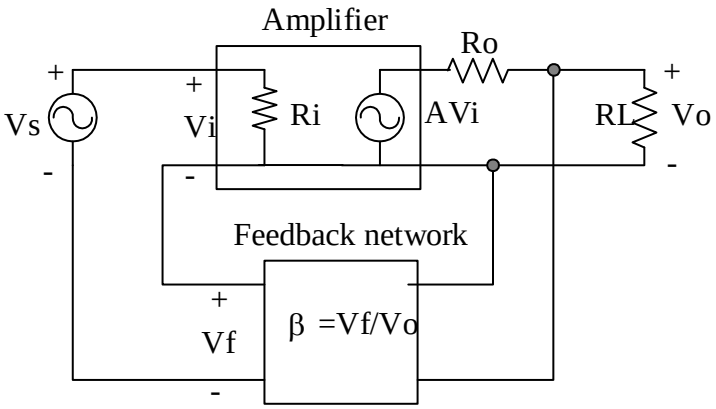
$$Af = \frac{A}{(1 + \beta A)}$$

ข้อดีของวงจรที่มีการป้อนกลับแบบลบ

1. อินพุตอิมพีแดนซ์ ของวงจรป้อนกลับ (Zif) และเอาท์พุตอิมพีแดนซ์ของวงจรป้อนกลับ(Zof)จะเพิ่มขึ้นหรือลดลง ก็ได้ขึ้นอยู่กับประเภทของวงจรป้อนกลับเพราะว่าค่าอิมพีแดนซ์ขึ้นอยู่กับแฟคเตอร์ $1 + \beta A$
2. ลดความเพี้ยนอันเนื่องมาจากความถี่
3. ลดคลื่นรบกวนและความเพี้ยนที่ไม่เป็นเชิงเส้น
4. เพิ่มแบนวิดท์ทำให้การตอบสนองความถี่ของวงจรดีขึ้น
5. ให้เสถียรภาพอัตราขยายของวงจรดีขึ้น

11.4.4 การพิจารณาอิมพีแดนซ์ของวงจรป้อนกลับแบบลบ

1. อินพุตอิมพีแดนซ์ของวงจรป้อนกลับแรงดันแบบอนุกรม



รูปที่ 11.19 บล็อกไดอะแกรมวงจรป้อนกลับแรงดันแบบอนุกรม

$$Zi = \frac{Vi}{Ii}$$

$$Vi = Vs - Vf = Vs - \beta * Vo$$

$$= Vs - \beta \cdot A \cdot Vi$$

$$Vs = Ii \cdot Zi + \beta \cdot A \cdot Vi$$

$$= Ii \cdot Zi + \beta \cdot A \cdot Ii \cdot Zi$$

$$Vs = Ii \cdot Zi\,(1 + \beta A)$$

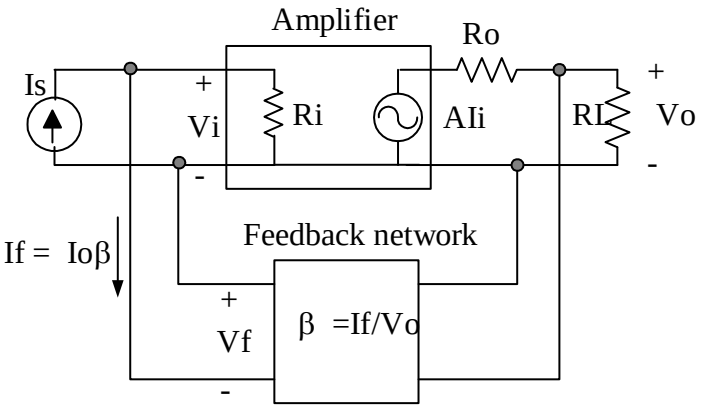
$$Zif = \frac{Vs}{Ii}$$

$$= \frac{Ii \times Zi(1+\beta A)}{Ii}$$

$$Zif = Zi\,(1 + \beta A)$$

จากสมการจะเห็นเมื่อมีการป้อนกลับแบบอนุกรมค่า Zif จะมีค่ามากกว่าค่าอิมพีแดนซ์ขณะที่ไม่มีการป้อนกลับด้วยแฟคเตอร์ของ $(1 + \beta A)$

11.4.5 อินพุตอิมพีแดนซ์ของวงจรป้อนกลับแรงดันแบบขนาน



รูปที่ 11.20 บล็อกไดอะแกรมงวงจรป้อนกลับแรงดันแบบขนาน

$$Zif = \frac{Vi}{Is}$$

$$Is = Ii + If = Ii + \beta * Vo$$

$$= Ii + \beta \cdot A \cdot Ii$$

$$= Ii\,(1 + \beta A)$$

$$Vi = Ii \cdot Zi$$

$$Zif = \frac{Ii \times Zi}{Ii(1 + \beta A)}$$

$$Zif = \frac{Zi}{(1 + \beta A)}$$

จากสมการจะเห็นเมื่อมีการป้อนกลับแบบขนานค่า Zif จะมีค่าต่ำกว่าค่าอิมพีแดนซ์ขณะที่ไม่มีการป้อนกลับด้วยแฟคเตอร์ของ (1 + βA)

11.4.6 เอาท์พุตอิมพีแดนซ์ของวงจรป้อนกลับแรงดันแบบอนุกรม

$$Zof = \frac{Vo}{Io}$$

$$Vo = IoZo + A \cdot Vi$$

$$Vi = -Vf$$

$$Vo = Io \cdot Zo - A \cdot Vf$$

$$= Io \cdot Zo - A \cdot \beta \cdot Vo$$

$$Vo + A \cdot \beta \cdot Vo = Io \cdot Zo$$

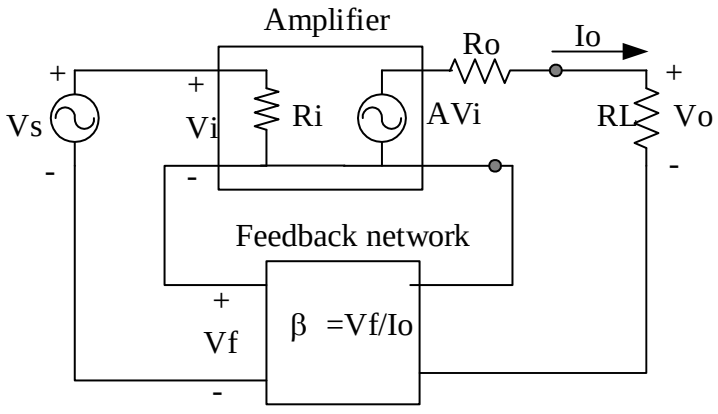
$$Vo(1 + A \cdot \beta) = Io \cdot Zo$$

$$Zof = \frac{Vo}{Io}$$

$$Zof = \frac{Zo}{1 + \beta A}$$

จากสมการจะเห็นเมื่อมีการป้อนกลับแบบอนุกรมค่า Zof จะมีค่าต่ำกว่าค่าอิมพีแดนซ์ขณะที่ไม่มีการป้อนกลับด้วยแฟคเตอร์ของ (1 + βA)

11.4.7 เอาท์พุตอิมพีแดนซ์ของวงจรป้อนกลับกระแสแบบอนุกรม



รูปที่ 11.21 บล็อกไดอะแกรมวงจรป้อนกลับกระแสแบบอนุกรม

$$Vi = Vf$$

$$Zof = \frac{Vo}{Io}$$

$$Io = \frac{Vo}{Zo} - A \cdot Vi$$

$$= \frac{Vo}{Zo} - A \cdot Vf$$

$$Io = \frac{Vo}{Zo} - A \cdot \beta \cdot Io$$

$$Io + A \cdot \beta \cdot Io = \frac{Vo}{Zo}$$

$$Io(1 + A \cdot \beta) = \frac{Vo}{Zo}$$

$$Zo(1 + A \cdot \beta) = \frac{Vo}{Io}$$

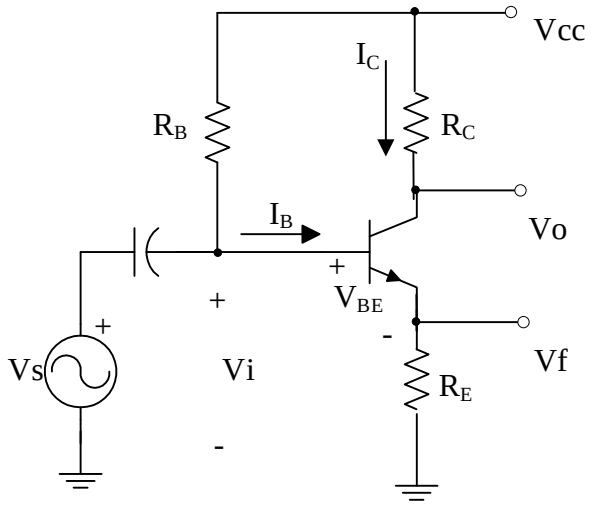
จากสมการ $Zof = \frac{Vo}{Io}$

ดังนั้นเมื่อหาเปรียบเทียบสมการจะได้ว่า

$$Zof = Zo \cdot (1 + A \cdot \beta)$$

จากสมการจะเห็นเมื่อมีการป้อนกลับกระแสแบบอนุกรมค่า Zof จะมีค่าสูงว่าค่าอิมพีแดนซ์ขณะที่ไม่มีการป้อนกลับด้วยแฟคเตอร์ของ (1 + βA)

11.4.8 การป้อนกลับแรงดันแบบอนุกรม (Voltage-Series Feedback)



รูปที่ 11.22 การป้อนกลับแรงดันแบบอนุกรม (วงจรคอมมอนคอลเลกเตอร์)

$$A = \frac{Vo}{Vs}$$

$$= \frac{h_{fe} \times i_b \times R_E}{i_b \times h_{ie}}$$

$$A = \frac{h_{fe} \times R_E}{h_{ie}}$$

$$\beta = \frac{Vf}{Vo} = 1$$

กรณีที่มีการป้อนกลับ

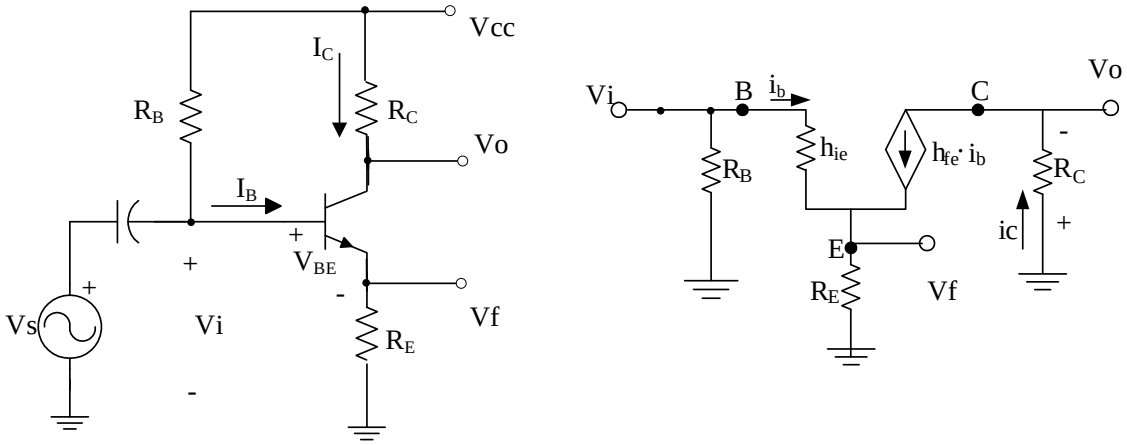
$$Af = \frac{A}{(1 + \beta A)}$$

$$= \frac{hfe \times (RE/hie)}{1 + (1 \times hfe \times RE/hie)}$$

$$= \frac{-h_{fe} \times R_E}{h_{ie} + h_{fe} \times R_E}$$

$$Af \approx 1$$

11.4.9 การป้อนกลับกระแสแบบอนุกรม (Current-Series Feedback)



รูปที่ 11.23 การป้อนกลับกระแสแบบอนุกรม (วงจรคอมมอนอีมิตเตอร์)

กรณีไม่มีการป้อนกลับ

$$A = \frac{Io}{Vi}$$

$$= \frac{-I_b \times h_{fe}}{I_b \times (h_{ie} + R_E)}$$

$$= \frac{-h_{fe}}{h_{ie} + R_E}$$

$$\beta = \frac{Vf}{Io}$$

$$= \frac{-Io \times R_E}{Io}$$

$$\beta = -RE$$

กรณีมีการป้อนกลับ

$$Af = \frac{Io}{Vs}$$

$$Af = \frac{A}{(1+\beta A)}$$

$$= \frac{-h_{fe}/(h_{ie}+R_E)}{1+(-R_E)\times(\frac{-h_{fe}}{h_{ie}+R_E})}$$

$$Af = \frac{-h_{fe}}{h_{ie} + h_{fe} \times R_E}$$

การหาค่า อินพุตและเอาท์พุต อิมพีแดนซ์

$$Zif = Zi\ (1 + \beta A)$$

$$= h_{ie}\ (1 + \frac{h_{fe} \times R_E}{h_{ie}})$$

$$Zif = h_{ie} + h_{fe}R_E$$

$$Zof = Zo(1 + \beta A)$$

$$Zof = R_C(1 + \frac{h_{fe} \times R_E}{h_{ie}})$$

อัตราการขยายแรงดันไฟฟ้าที่มีการป้อนกลับ

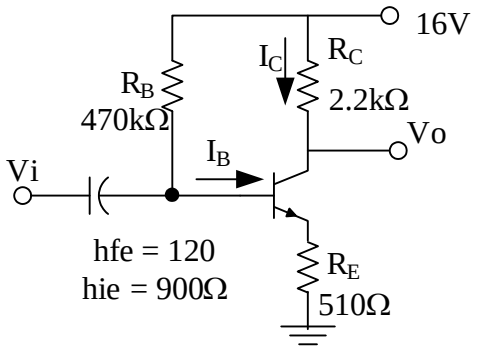
$$Av = \frac{Vo}{Vs}$$

$$= \frac{Io \times RC}{Vs}$$

$$= Af \cdot R_C$$

$$Av = \frac{-h_{fe} \times R_C}{h_{ie} + h_{fe} \times R_E}$$

ตัวอย่างที่ 9 จงหาอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าที่มีการป้อนกลับและอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าที่ไม่มีการป้อนกลับ



วิธีทำ กรณีไม่มีการป้อนกลับ

$$A = \frac{Io}{Vi}$$

$$= \frac{-h_{fe}}{h_{ie} + R_E}$$

$$= \frac{-120}{900\,\Omega + 510\,\Omega}$$

$$A = -0.085 \quad \text{ตอบ}$$

$$\beta = \frac{Vf}{Io}$$

$$= -RE$$

$$\beta = -510 \quad \text{ตอบ}$$

แฟคเตอร์ $1 + \beta A = 1 + (-0.085)(-510)$

$1 + \beta A = 43.35$ ตอบ

อัตราขยายการป้อนกลับ

$$Af = \frac{Io}{Vs}$$

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

$$= \frac{-0.085}{43.35}$$

$Af = -1.96 \times 10^{-3}$ ตอบ

อัตราการขยายแรงดันไฟฟ้าที่มีการป้อนกลับ

$$Avf = \frac{Vo}{Vs}$$

$$= \frac{Io \times RC}{Vs}$$

$$= Af \times RC$$

$$= (-1.96 \times 10^{-3}) \times 2.2 \times 10^{3}$$

$Avf = -4.3$ ตอบ

แบบฝึกหัด วงจรขยายกำลังและการป้อนกลับ

1.จงอธิบายการกำนดจุดทำงานของวงจรขยายแบบ class A มาพอสังเขป

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2.จงอธิบายการกำนดจุดทำงานของวงจรขยายแบบ class B มาพอสังเขป

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3.จงอธิบายการกำนดจุดทำงานของวงจรขยายแบบ class AB มาพอสังเขป

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5. จงเขียนบล็อกไดอะแกรมของการป้อนกลับแบบลบ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

6. จงเขียนบล็อกไดอะแกรมของการป้อนกลับแบบอนุกรม

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

7. จงเขียนบล็อกไดอะแกรมของการป้อนกลับแบบขนาน

.....

.....

.....

.....

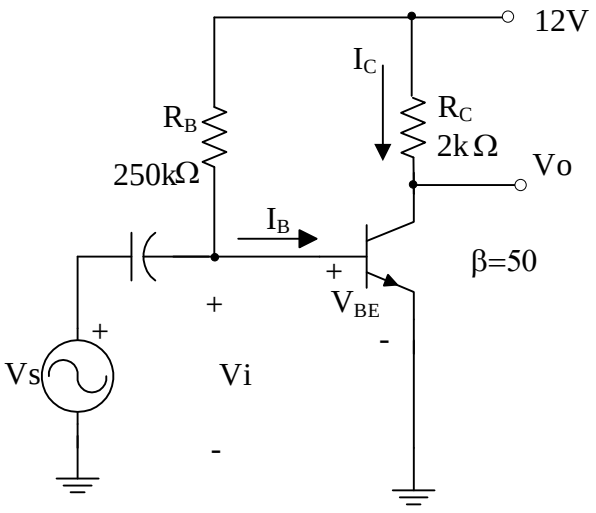
.....

.....

.....

.....

8.จงคำนวณหาค่ากระแสและแรงดันไบแอสของวงจร I_B , I_C และ V_{CE} ค่าเพาเวอร์ที่อินพุต Pi และเพาเวอร์ที่เอาท์พุต Po power dissipated ของทรานซิสเตอร์ และค่าประสิทธิภาพ(efficiency) กำหนดให้ input signal voltage กระแส I_B 10 mA(peak)



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ใบงานที่

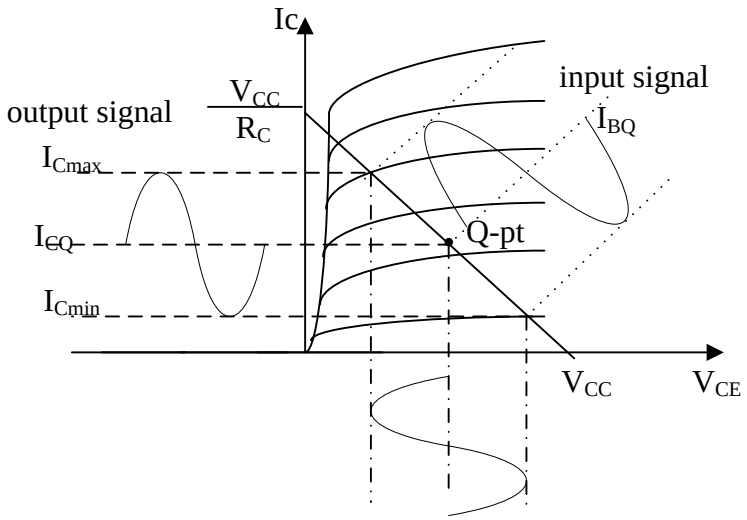
วงจรขยายกำลัง

วัตถุประสงค์

1. มีทักษะในการวัดสัญญาณของวงจรขยาย Class A ได้
2. มีทักษะในการวัดสัญญาณของวงจรขยาย Class AB ได้
3. มีทักษะในการวัดสัญญาณของวงจรขยาย Class B ได้
4. มีกิจนิสัยในการทำงานด้วยความประณีต รอบคอบและตรงต่อเวลา
5. มีความซื่อสัตย์ มีความใฝ่รู้ และมีความอดทน
6. มีความขยัน รับผิดชอบงานที่มอบหมาย และทำงานร่วมกับผู้อื่นได้

สาระสำคัญ

วงจรขยายกำลัง



1. คลาส A (Class A) คือ วงจรขยายที่มีการไบอัสทรานซิสเตอร์ตลอดไซเคิล หรือ 1 คาบเวลาของสัญญาณอินพุต ซึ่งมีประสิทธิภาพกำลังของการขยาย 25%

2. คลาส B (Class B) คือ วงจรขยายที่มีการไบอัสทรานซิสเตอร์ครึ่งไซเคิล ของสัญญาณอินพุตมีประสิทธิภาพกำลังของการขยาย 78.5%

3. คลาส AB (Class AB) คือ วงจรขยายที่มีการไบอัสทรานซิสเตอร์ในช่วงครึ่งไซเคิลกับเต็มไซเคิล

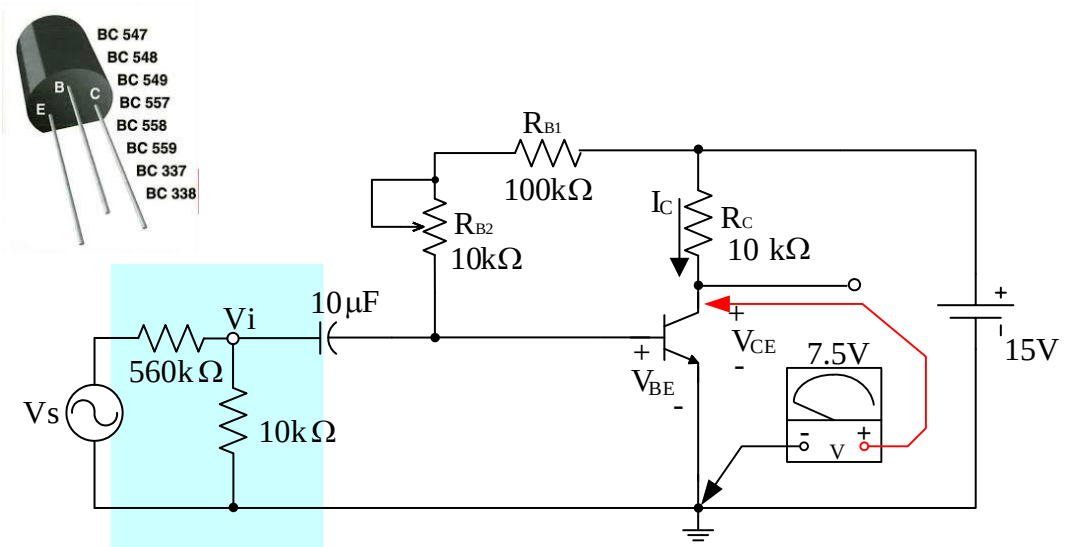
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ออสซิลโลสโคป 2 เส้นภาพ	1 เครื่อง
2. ชุดทดลอง BASE UNIT	1 เครื่อง
3. แผงโมดุลการทดลอง	1 แผ่น
4. สายต่อวงจรไฟฟ้า	1 ชุด
5. มัลติมิเตอร์	1 เครื่อง
6. เครื่องกำเนิดสัญญาณฟังก์ชั่น	1 เครื่อง

ลำดับขั้นการทดลอง

1. **วงจรขยายกำลังคลาส A (Class A)**

1.1 ต่อวงจรตามรูปที่ 1

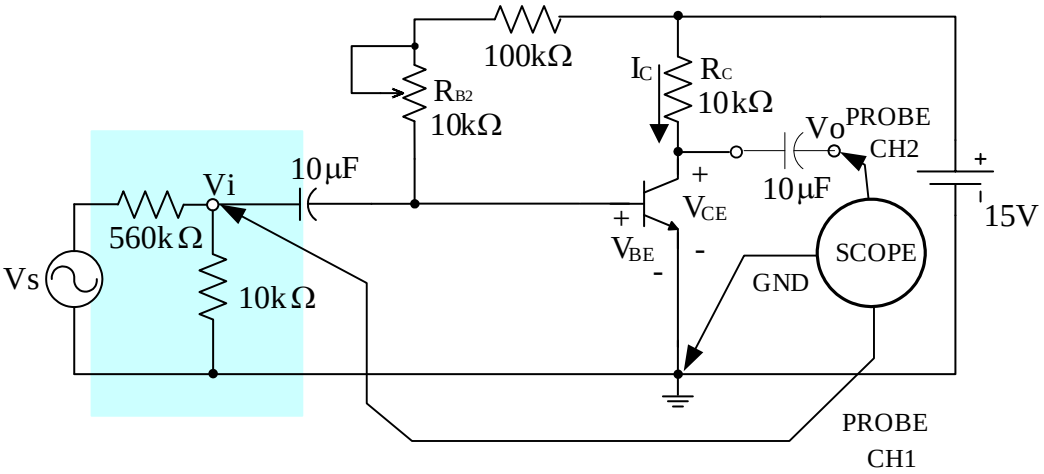


รูปที่ 1 วงจรขยายคลาส A

1.2. ใช้โวลต์มิเตอร์วัดแรงดันระหว่างขาคอลเลกเตอร์กับอีมิตเตอร์

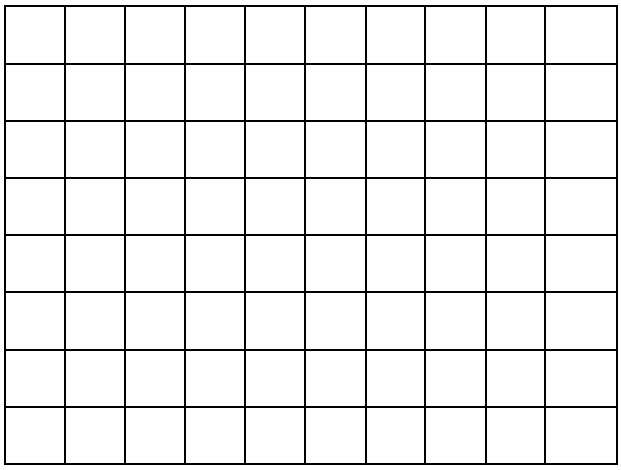
1.3. ปรับความต้านทาน R_{B2} ให้แรงดันทีมิเตอร์ V_{CE} ได้ประมาณเท่ากับ 7.5V

1.4 ใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณที่ อินพุตและเอาท์พุต ตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 การวัดสัญญาณที่อินพุตและเอาท์พุตของคลาส A

1.5 ป้อนสัญญาณที่ Vs รูปคลื่น Sine wave ความถี่ 1KHz ทำการปรับขนาดแรงดันของสัญญาณ ให้สัญญาณที่เอาท์พุตมีขนาดไม่เพี้ยน แล้วบันทึกผล



……V/DIV

……V/DIV

-จงอธิบายผลของรูปสัญญาณอินพุตและเอาท์พุตเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร.....

.....

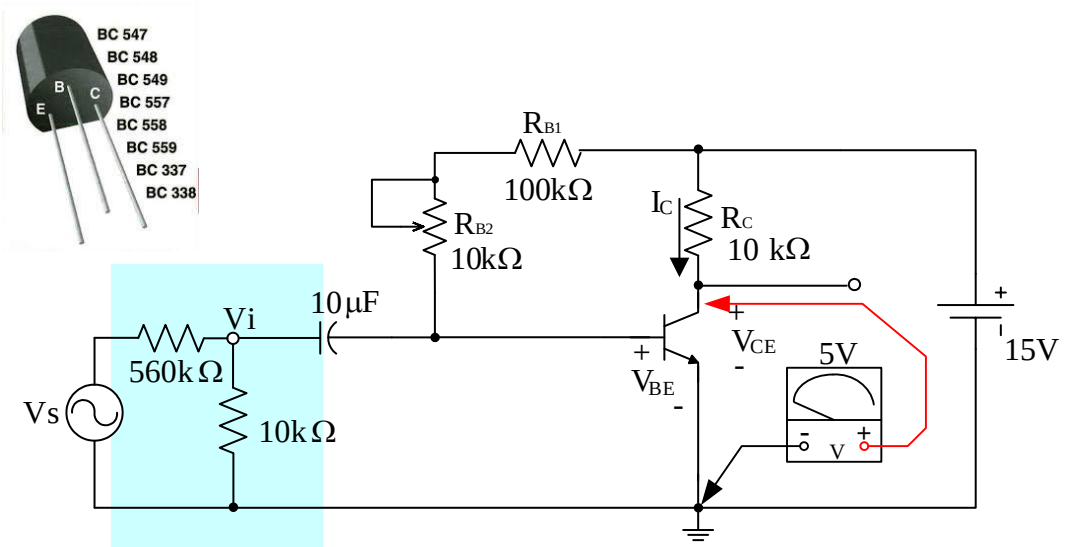
.....

.....

.....

2. **วงจรขยายกำลังคลาส AB (Class AB)**

2.1 ต่อวงจรตามรูปที่ 3

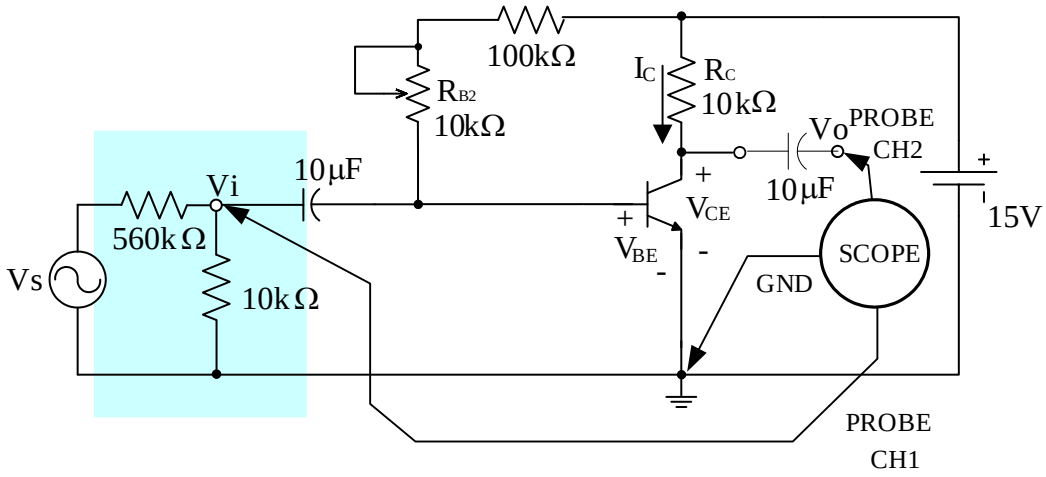


รูปที่ 3 วงจรขยายคลาส AB

2.2. ใช้โวลต์มิเตอร์วัดแรงดันระหว่างขาคอลเลกเตอร์กับอีมิตเตอร์

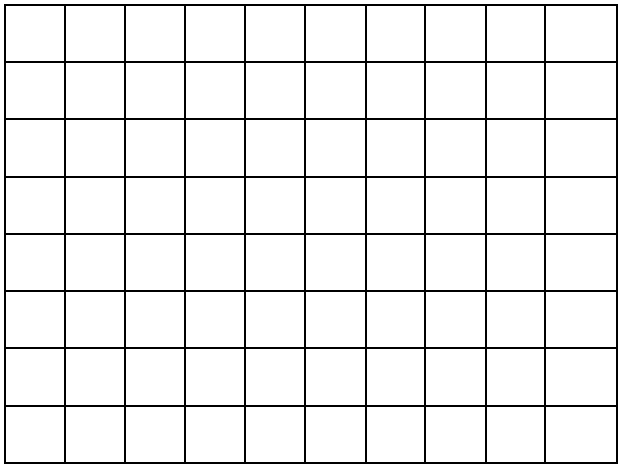
2.3. ปรับความต้านทาน R_{B2} ให้แรงดันทีมิเตอร์ V_{CE} ได้ประมาณเท่ากับ 5V

2.4 ใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณที่ อินพุตและเอาท์พุต ตามรูปที่ 4



รูปที่ 4 การวัดสัญญาณที่อินพุตและเอาท์พุตของคลาส AB

2.5 ป้อนสัญญาณที่ Vs รูปคลื่น Sine wave ความถี่ 1KHz ทำการปรับขนาดแรงดันของสัญญาณ ให้สัญญาณที่เอาท์พุตได้เต็มครึ่งไซเคิล แล้วบันทึกผล



……V/DIV

……V/DIV

-จงอธิบายผลของรูปสัญญาณอินพุตและเอาท์พุตเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร.....

.....

.....

.....

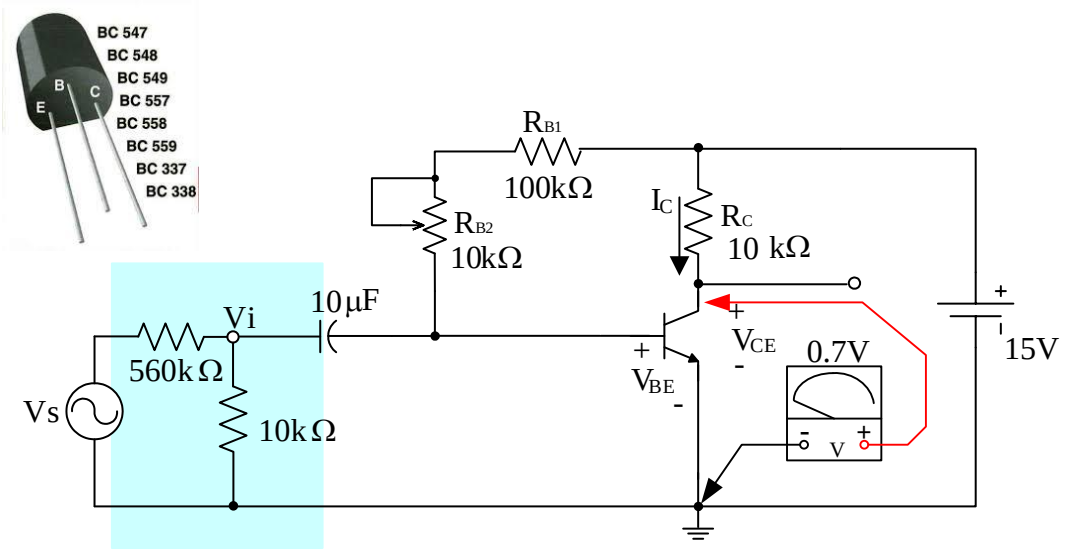
.....

.....

.....

3. **วงจรขยายกำลังคลาส B (Class B)**

3.1 ต่อวงจรตามรูปที่ 5

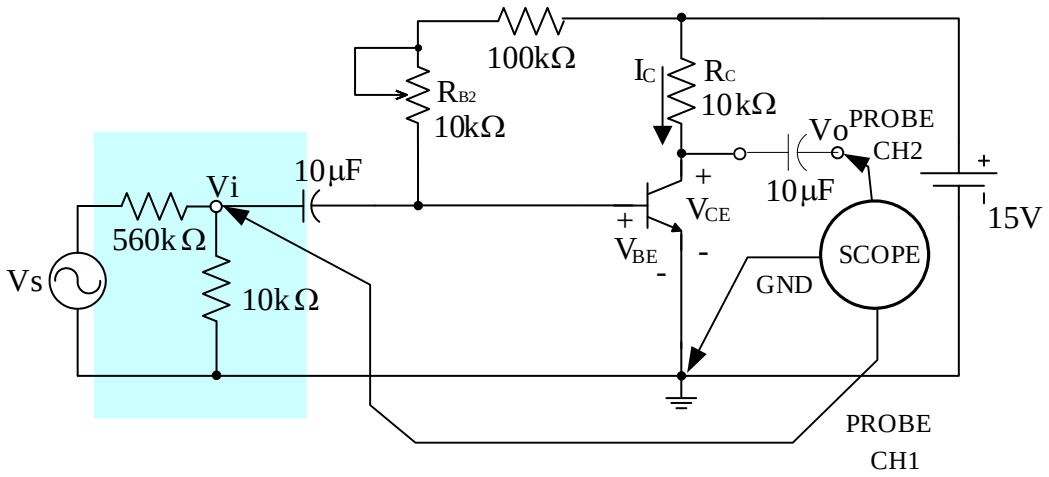


รูปที่ 5 วงจรขยายคลาส B

3.2. ใช้โวลต์มิเตอร์วัดแรงดันระหว่างขาคอลเลกเตอร์กับอีมิตเตอร์

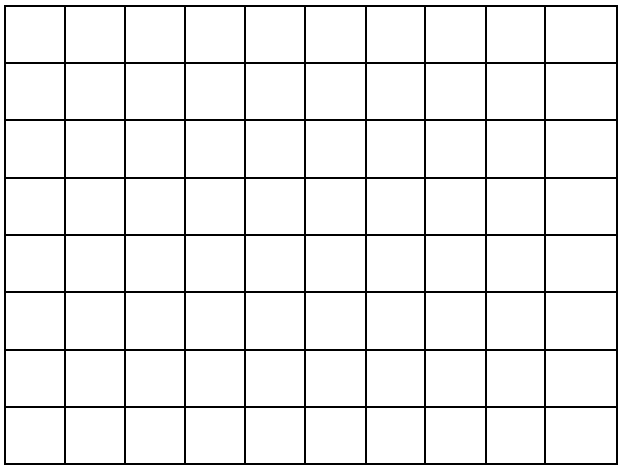
3.3. ปรับความต้านทาน R_{B2} ให้แรงดันทีมิเตอร์ V_{CE} ได้ประมาณเท่ากับ 0.7V

3.4 ใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณที่ อินพุตและเอาท์พุต ตามรูปที่ 6



รูปที่ 6 การวัดสัญญาณที่อินพุตและเอาท์พุตของคลาส B

3.5 ป้อนสัญญาณที่ Vs รูปคลื่น Sine wave ความถี่ 1KHz ทำการปรับขนาดแรงดันของสัญญาณ ให้สัญญาณที่เอาท์พุตได้ครึ่งไซเคิล แล้วบันทึกผล



……V/DIV

……V/DIV

-จงอธิบายผลของรูปสัญญาณอินพุตและเอาท์พุตเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร.....

.....

.....

.....

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

แบบประเมินผลการปฏิบัติการทดลอง

ชื่อ – สกุล .....ชั้น/กลุ่ม.....เลขที่.....

ลำดับที่	เกณฑ์การประเมิน	ระดับคะแนน				หมายเหตุ
		3	2	1	0	
1	การตรงต่อเวลา					
2	การแต่งกาย					
3	ความตั้งใจการปฏิบัติงาน					
4	การทำงานร่วมกับผู้อื่น					
5	การเตรียม / เก็บรักษาเครื่องมือ					
6	ทักษะในการปฏิบัติงาน					
7	ปฏิบัติงานถูกต้องตามขั้นตอน					
8	ส่งงานตามกำหนดเวลา					
9	ความถูกต้องของใบงาน					
10	สรุปผลการทดลอง					
	รวมคะแนน					

สรุปผลการประเมิน ☐ ผ่าน ☐ ไม่ผ่าน คะแนนที่ได้ .....

ข้อเนอแนะ .....

.....

ลงชื่อ .....ผู้ประเมิน

(นายชาตรี เริงชัยภูมิ)

เกณฑ์การประเมิน

ระดับ 3 หมายถึง ปฏิบัติถูกต้องสม่ำเสมอ

ระดับ 2 หมายถึง ปฏิบัติถูกต้องเป็นบางครั้ง

ระดับ 1 หมายถึง ปฏิบัติถูกต้องน้อยครั้ง

ระดับ 0 หมายถึง ไม่ปฏิบัติเลย

แบบทดสอบหลังเรียนหน่วยที่ 11

วงจรขยายกำลังและการป้อนกลับ

คำสั่ง ให้ทำเครื่องหมาย x ตรงข้อที่ถูกที่สุด เพียงข้อเดียว

1. ข้อใดกล่าวถูกต้องตรงกับคุณสมบัติของวงจรขยายกำลังคลาส A
   ก. ใช้การไบอัสทรานซิสเตอร์ที่กึ่งกลางของเส้นโหลด
   ข. มีการเกิดความเพี้ยนของสัญญาณมาก
   ค. มีประสิทธิภาพในการขยายกำลังค่อนข้างดี
   ง. มีประสิทธิภาพกำลังของการขยาย 100%

2. ข้อใดกล่าวถูกต้องตรงกับคุณสมบัติของวงจรขยายกำลังคลาส AB
   ก. วงจรขยายที่มีการจ่ายไบอัสทรานซิสเตอร์ตลอด 1 ไซเคิล
   ข. วงจรขยายที่มีการจ่ายไบอัสทรานซิสเตอร์ที่ไม่เกิน 1 ไซเคิล
   ค. มีประสิทธิภาพกำลังของการขยายสูงกว่า 90%
   ง. วงจรขยายที่มีการจ่ายไบอัสทรานซิสเตอร์ต่ำกว่าครึ่งไซเคิล

3. ข้อใดกล่าวถูกต้องของวงจรขยายกำลังคลาส AB ทรานส์ฟอร์เมอร์คัปเปิล
   ก. ทรานสฟอร์เมอร์จะมีผลตอบสนองทางด้านความถี่ต่ำและความถี่สูงดี
   ข. ใช้ทรานสฟอร์เมอร์เป็นตัวเชื่อมต่อที่ภาคเอาท์พุต
   ค. ใช้ทรานซิสเตอร์NPN กับ PNP ทำงานร่วมกัน
   ง. ใช้เจเฟตชนิด N-Channel และ P-Channel ทำงานร่วมกัน

4. จงคำนวณหาค่าประสิทธิภาพสูงสุดของวงจรขยายคลาส A เมื่อกำหนดให้กำลังเอาท์พุตที่ ทรานส ฟอร์เมอร์มีค่าเท่ากับ PO (ac) = 26.6 mW และกำลังทางด้านอินพุตมีค่าเท่ากับ Pi (dc) = 131.4 mW
   ก.19.11%
   ข. 19.69%
   ค. 20.24%
   ง. 21.53%

5. วงจรคอมพลิเมนตารี(Complimentary) แบบสมมาตรต้องใช้แหล่งจ่ายชนิดใด
   ก. แหล่างจ่ายไฟแบบเดียว
   ข. แหล่งจ่ายไฟแบบคู่
   ค. แหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้น
   ง. แหล่งจ่ายแบบปรับค่าได้

6. ข้อใดเป็นลักษณะของวงจรคอมพลิเมนตารี(Complimentary)

ก. ใช้คาปาซิเตอร์เป็นตัวเชื่อมต่อที่ภาคเอาท์พุต

ข. มีประสิทธิภาพการขยายมากกว่าวงจรขยายกำลังคลาส A

ค. ใช้ทรานสฟอร์เมอร์ในการถ่ายทอดสัญญาณ

ง. ใช้ทรานซิสเตอร์NPN กับ PNP ท างานร่วมกัน

7. สมการหาค่าประสิทธิภาพสูงสุดของวงจรขยายกำลังคลาส B ตรงกับข้อใด

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

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

ค. % $\eta = \frac{0.5V_{EC} \times I_P}{V_{CC} \times I_P} \times 100$

ง. % $\eta = \frac{V_{EC} \times I_P}{V_{CC} \times I_P} \times 100$

8. สมการการลดทอนของวงจรขยายแบบมีการป้อนกลับ ตรงกับข้อใด

ก. β

ข. 1 + β

ค. 1 + βA

ง. βA

9. ข้อใด ไม่ใช่ คุณสมบัติของวงจรขยายที่มีการป้อนกลับแบบลบ

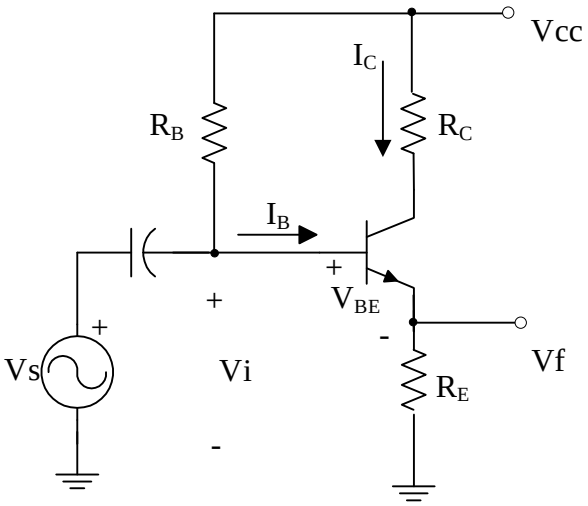
ก. อัตราขยายวงจรคงที่

ข. มีการชดเชยด้านอุณหภูมิการทำงานของวงจร

ค. เพิ่มแบนวิดท์การตอบสนองความถี่ดีขึ้น

ง. มุมเฟสระหว่างอินพุตและเอาท์พุตมีเฟสตรงกัน

10. จากวงจรเป็นการจัดวงจรป้อนกลับแบบใด



ก. การป้อนกลับแรงดันแบบอนุกรม (Voltage-Series Feedback)

ข. การป้อนกลับแรงดันแบบขนาน (Voltage-Shunt Feedback)

ค. การป้อนกลับกระแสแบบอนุกรม (Current-Series Feedback)

ง. การป้อนกลับกระแสแบบขนาน (Current-Shunt Feedback)

เฉลยแบบทดสอบหลังเรียนหน่วยที่ 11

ข้อ	เฉลย
1	ก
2	ข
3	ค
4	ค
5	ข
6	ง
7	ข
8	ค
9	ง
10	ก