หน่วยที่ 10

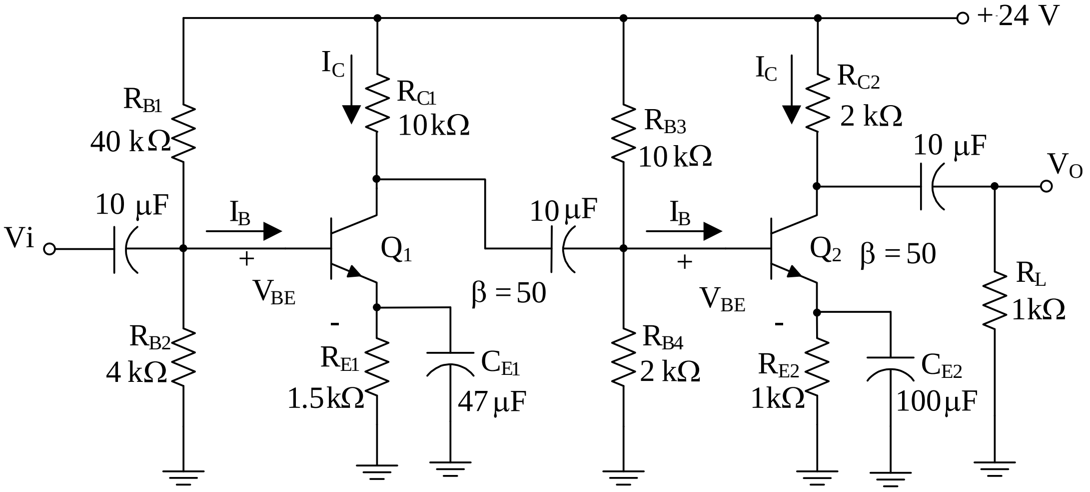
วงจรขยายสัญญาณหลายภาค

แบบทดสอบก่อนเรียน

เรื่องวงจรขยายหลายภาค

คำสั่ง จงทำเครื่องหมายกากบาท (X) ลงบนข้อคำตอบที่ถูกที่สุด

จากวงจรข้างล่างให้ตอบคำถามตั้งแต่ข้อ 1 ถึงข้อ 4



1.กระแส I_C ของทรานซิสเตอร์ Q_1 มีค่าเท่าใด

ก. 1 mA

ข. 0.987 mA

ค. 2.18 mA

ง. 1.45 mA

2. กระแส I_C ของทรานซิสเตอร์ Q_2 มีค่าเท่าใด

ก. 4 mA

ข. 2.4 mA

ค. 3.3 mA

ง. 0.7 mA

3.อัตราขยายแรงดันของวงจรขยาย Q_1 มีค่าเท่าใด

ก. – 11.84

ข. – 14.23

ค. – 384.61

ง. – 57.69

4.อัตราขยายแรงดันของวงจรขยาย Q_2 มีค่าเท่าใด

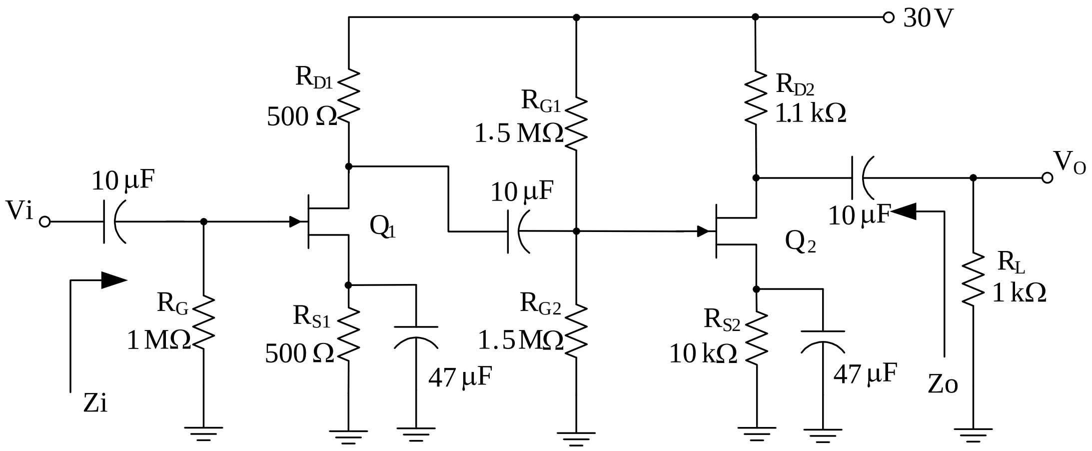
ก. – 126.9

ข. – 253.8

ค. – 25.38

ง. – 83.75

จากวงจรข้างล่างให้ตอบคำถามตั้งแต่ข้อ 5 ถึงข้อ 8 กำหนดให้คุณสมบัติของเฟตทั้ง 2 ตัวมีพารามิเตอร์เหมือนกันคือ กระแส I_{DSS} = 16 mA และแรงดัน $V_{GS(off)} = V_P$ = -8 V



5. จากรูป แรงดัน V_{GS} ของวงจรขยาย Q_1มีค่าเท่าใด

ก. – 8 V

ข. – 5 V

ค. – 4 V

ง. – 3 V

6. จากรูป แรงดัน V_{GS} ของวงจรขยาย Q_2 มีค่าเท่าใด

ก. – 8 V

ข. – 5 V

ค. – 4 V

ง. – 3 V

7. จากรูป อัตราขยายแรงดันของวงจรขยาย Q_1 มีค่าเท่าใด

ก. – 2

ข. – 1.25

ค. – 1

ง. – 0.75

8. จากรูป อัตราขยายแรงดันของวงจรขยาย Q_2 มีค่าเท่าใด

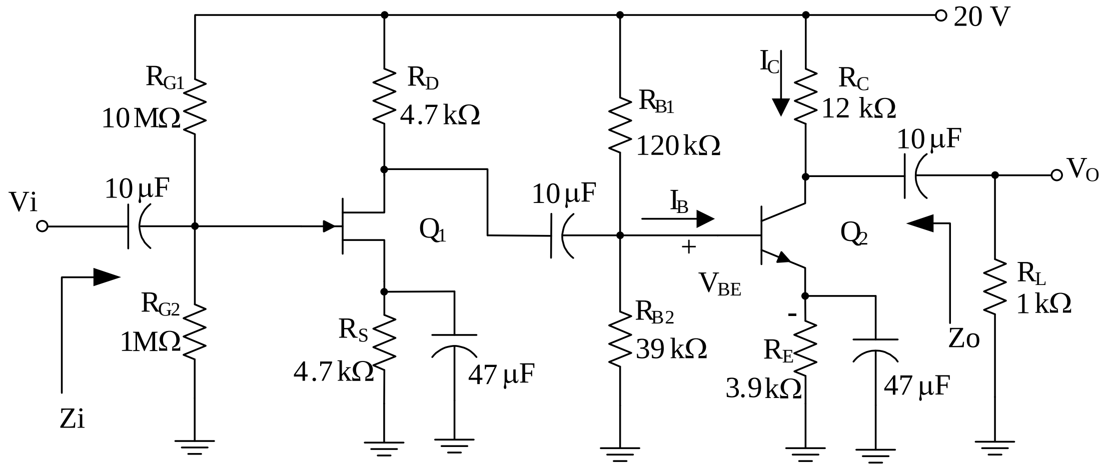
ก. – 2

ข. – 1.65

ค. – 2.68

ง. – 1.5

จากวงจรข้างล่างให้ตอบคำถามตั้งแต่ข้อ 9 ถึงข้อ 10 กำหนดให้คุณสมบัติของเฟตมี กระแส I_{DSS} = 16 mA และแรงดัน $V_{GS(off)} = V_P$ = -8 V และ Q_2 มีอัตราขยายทางกระแส β = 40



9. จากรูปให้หาอัตราขยายของวงจรขยาย Q_1มีค่าเท่าใด

ก. – 5.64

ข. – 1.64

ค. – 4.74

ง. – 4.64

10. จากรูปให้หาอัตราขยายของวงจรขยาย Q_2มีค่าเท่าใด

ก. – 512

ข. – 150.53

ค. – 461.53

ง. – 40

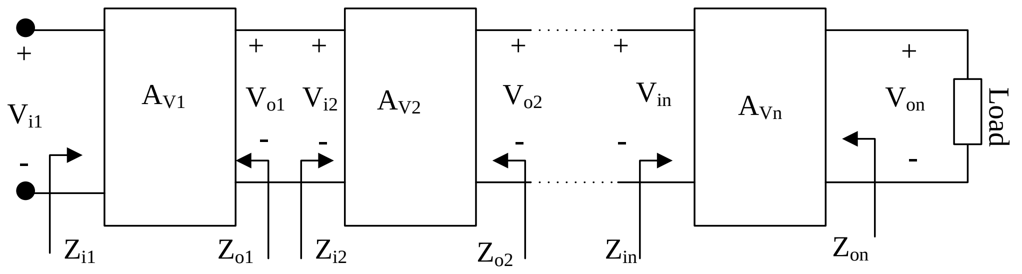
เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียน

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

หน่วยที่ 10
วงจรขยายสัญญาณหลายภาค

10.1 คุณสมบัติวงจรขยายแบบแคสเคด

วงจรขยายสัญญาณหลายภาค หมายถึงการนำวงจรขยายหลายๆ วงจรมาต่อเข้าด้วยกัน เรียกว่าการต่อแบบแคสเคด (Cascade Circuit) ดังรูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมของการต่อวงจรแบบแคสเคด เป็นการต่อโดยการนำเอาอินพุตของวงจรที่ 2 ต่อเข้ากับเอาท์พุตของวงจรที่ 1 หรือจะกล่าวอีกอย่างว่าเหมือนกับการต่อวงจรแบบอนุกรม



รูปที่ 10.1 บล็อกไดอะแกรมการต่อวงจรแบบแคสเคด

ส่วนการหาอัตราขยายแรงดัน (A_v) และอัตราขยายกระแส (A_i) ของแต่ละวงจร จะต้องนำค่าความต้านทานที่ต่ออยู่ร่วมกันระหว่างวงจรมาพิจารณาด้วย เปรียบเหมือนเป็นโหลดกับวงจร ไม่สามารถแยกออกมาพิจารณาวงจรเดียว เดี่ยวๆได้

การหาอัตราขยายรวมของวงจรแคสเคด หาได้ดังสมการต่อไปนี้

$$A_{VT} = \pm A_{V1} \cdot \pm A_{V2} \cdot \pm A_{V3} \cdot \ldots\ldots\ldots\ldots \cdot \pm A_{vn}$$

$$A_{iT} = A_{i1} \cdot A_{i2} \cdot A_{i3} \cdot \ldots\ldots\ldots\ldots \cdot A_{in}$$

สมมติว่ามีการต่อวงจรขยาย 2 วงจร

กำหนดให้อัตราขยายวงจรที่ 1 (A_{V1}) = -40 อัตราขยายวงจรที่ 1 (A_{V2}) = -50 และ แรงดันที่อินพุต V_i = 1 mV ให้คำนวณหาค่าอัตราขยายรวมของวงจรและแรงดันที่เอาท์พุต

$$V_{O1} = A_{V1} \cdot V_{i1}$$

$$= 40 \times -1 \text{ mV}$$

$$V_{O1} = -40 \text{ mV}$$

ซึ่ง $V_{O1} = V_{i2}$

$$V_{O2} = A_{V2} \cdot V_{i2}$$
$$= -50 \times -40 \text{ mV}$$
$$V_{O2} = 2 \text{ V}$$

อัตราขยายรวมของวงจร (A_{VT})

$$A_{VT} = \frac{V_{o2}}{V_{i1}}$$
$$= \frac{2v}{1mV}$$
$$A_{VT} = 2{,}000 \text{ เท่า}$$

ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i) และ เอาท์พุตอิมพีแดนซ์ (Z_O) ของระบบจะสามารถบอกได้เลยอย่างไรก็ตามถ้ารู้จำนวนที่แน่นอนก็สามารถที่จะหาค่า อินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i) และ เอาท์พุตอิมพีแดนซ์ (Z_O) ได้อย่างถูกต้องไม่ว่าจะพิจารณา 1 วงจร 2 วงจร หรือหลายๆ วงจร โดยที่อินพุตอิมพีแดนซ์ของระบบ (Z_i) ก็หาได้จากอินพุตอิมพีแดนซ์ของวงจรที่ 1 ส่วน เอาท์พุตอิมพีแดนซ์ ของระบบ (Z_O) ก็หาได้จากเอาท์พุตอิมพีแดนซ์ ของวงจรสุดท้าย

การคำนวณหาค่าอัตราขยายรวมของวงจรหาได้จากสมการดังนี้

$$|A_{VT}| = \left|\frac{V_{on}}{V_{i1}}\right|$$

$$|A_{VT}| = \left|\frac{I_{on} \cdot Z_L}{I_{i1} \cdot Z_{i1}}\right|$$

ซึ่ง

$$\left|\frac{I_{on}}{I_{i1}}\right| = |A_{iT}|$$

$$|A_{VT}| = |A_{iT}| \cdot \left|\frac{Z_L}{Z_{i1}}\right|$$

$$|A_{iT}| = |A_{VT}| \cdot \left|\frac{Z_{i1}}{Z_L}\right|$$

อัตราขยายกำลังไฟฟ้ารวม (A_{PT})

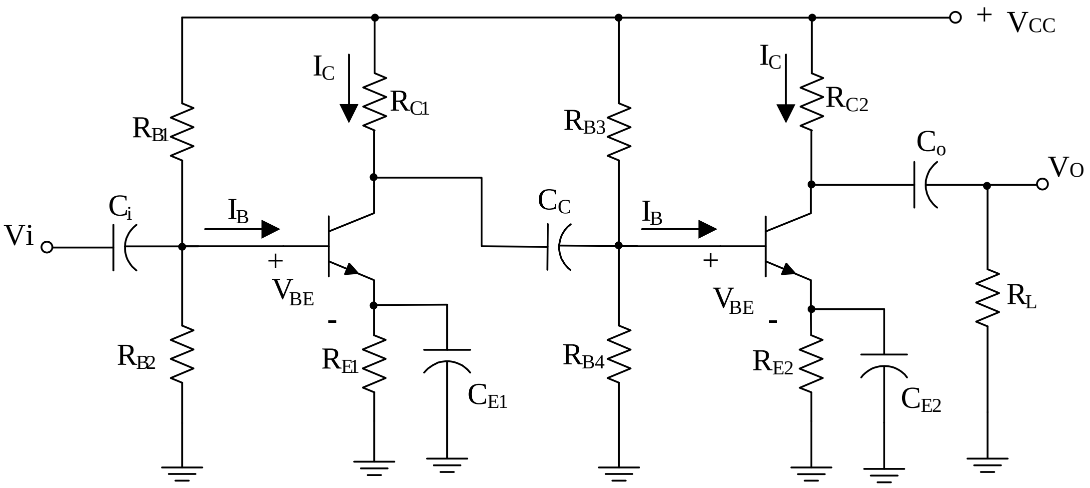
$$|A_{PT}| = |A_{iT}| \cdot |A_{VT}|$$

$$|A_{PT}| = \left|\frac{I_{on}^{2} \cdot Z_L}{I_{i1}^{2} \cdot Z_{i1}}\right|$$

$$|A_{PT}| = \frac{Po}{Pi}$$

10.2 วงจรขยายแบบแคสเคดทรานซิสเตอร์

จากวงจรในรูปที่ 10.2 เป็นการต่อวงจรระหว่างคอมมอนอีมิตเตอร์ทั้ง 2 วงจร ซึ่งอินพุตสัญญาณเข้าที่ขาเบส และเอาท์พุตออกที่ขาคอลเลกเตอร์ ดังรูป

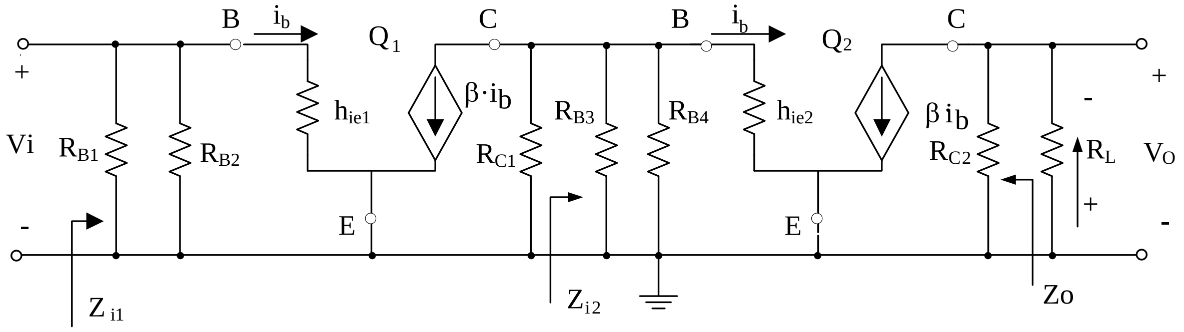


รูปที่ 10.2 วงจรแคสเคดทรานซิสเตอร์

ในการวิเคราะห์การทำงานของวงจรจะแยกอิสระต่อกันระหว่างวงจรที่ 1 กับวงจรที่ 2 ทั้งในด้านการไบแอสและอัตราขยายของวงจร สามารถนำสมการที่เคยวิเคราะห์มาแล้วในหน่วยก่อนๆ มาประยุกต์ใช้งานได้เลย

จะเพิ่มเติมก็ในเรื่องการหาอัตราขยายจะต้องนำเอาอินพุตอิมพิแดนซ์ของวงจรถัดไปมารวมกับเอาท์พุตของวงจรที่กำลังพิจารณาอยู่ หรือกล่าวอีกอย่างคือพิจารณาแบบวงจรมีโหลด

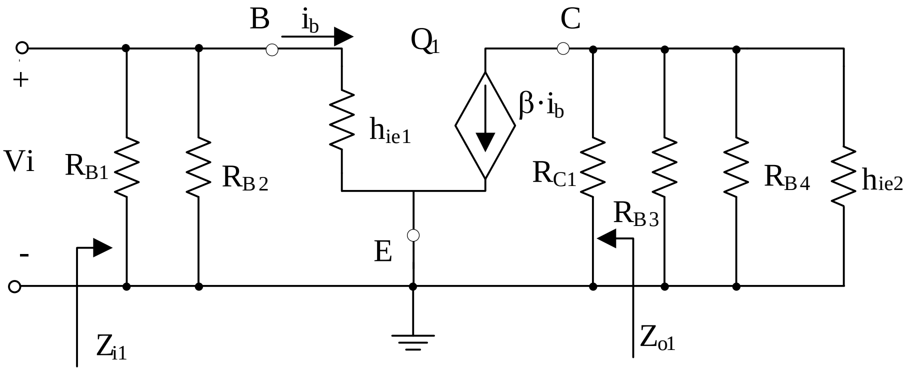
จากวงจรที่กำหนดให้จะต้องทำการเปลี่ยนจากวงจรทางดีซีไบอัสเป็นวงจรขยายสัญญาณได้ดังนี้



รูปที่ 10.3 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าของวงจรขยายสัญญาณวงจรแคสเคดทรานซิสเตอร์

เมื่อทำการเปลี่ยนเป็นวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของวงจรขยายสัญญาณแล้ว ขั้นตอนต่อเมื่อต้องการหาอัตราขยายสัญญาณของวงจรจะต้องพิจารณาแยกของแต่ละวงจรซึ่งจากรูปประกอบ ด้วยวงจรขยาย 2 วงจรก็จะต้องแยกเป็นวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของวงจรขยายสัญญาณ 2 วงจร ดังนี้

การพิจารณาวงจรที่ 1 ซึ่งโหลดของวงจรที่1 ก็คืออินพุตอิมพีแดนซ์ของวงจรที่ 2

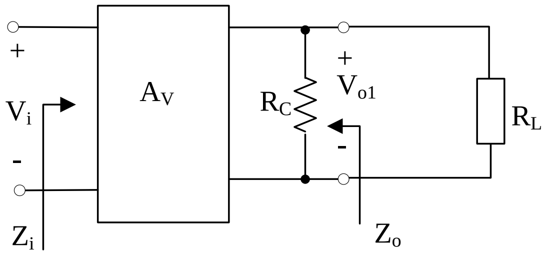


รูปที่ 10.4 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าของวงจรขยายสัญญาณของวงจรขยายที่ 1

จากรูปที่ 4 เป็นวงจรขยายสัญญาณคอมมอนอิมิตเตอร์แบบที่ไม่มีความต้านทานขาอิมิตเตอร์ ซึ่งสมการในการคำนวณหาค่าอัตราขยายแรงดันของคอมมอนอิมิตเตอร์ ดังสมการข้างล่าง

$$A_V = \frac{-h_{fe} \cdot R_C}{h_{ie}}$$

จากสมการตัวแปรที่เป็นจุดสังเกตคือตัวแปร R_C ซึ่งในที่นี้หมายถึงความต้านทานที่ต่ออยู่กับขาคอลเล็กเตอร์ นั่นเอง



รูปที่ 10.5 บล็อกไดอะแกรมวงจรขยายกรณีมีโหลด

จากบล็อกไดอะแกรมตัวแปร R_C คือความต้านทานเอาท์พุตอิมพิแดนซ์ของวงจรที่ 1 ส่วนตัวแปร R_L คือความต้านทานอินพุตอิมพิแดนซ์ของวงจรที่ 2

อินพุตอิมพิแดนซ์ ดูจากวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของวงจรขยายสัญญาณ รูปที่ 10.4

$$Z_i = Z_{i1}$$

$$Z_i = R_{B1} // R_{B2} // h_{ie1}$$

เอาท์พุตอิมพิแดนซ์วงจรขยายที่ 1

$$Z_{O1} = R_{C1}$$

ความต้านทานโหลด R_L เมื่อเทียบกับวงจรสมมูลวงจรขยายของวงจรที่ 1 จะได้ดังนี้

$$R_{L1} = R_{B3} // R_{B4} // h_{ie2}$$

จากสมการอัตราขยายแรงดัน

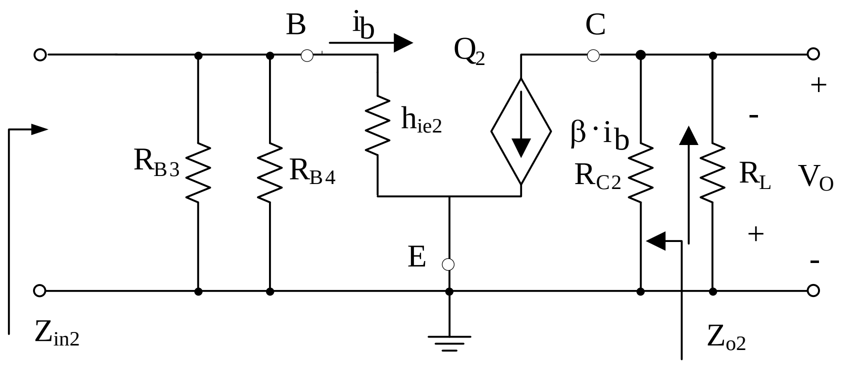
$$A_V = \frac{-h_{fe} \cdot R_C}{h_{ie}}$$

ตัวแปร R_C แปรความหมายว่าค่าความต้านทานทั้งหมดที่ต่ออยู่กับขาคอลเลกเตอร์

ดังนั้น อัตราขยายแรงดันวงจรขยายที่ 1

$$A_{V1} = \frac{-h_{fe1} \cdot (R_C // R_{L1})}{h_{ie1}}$$

การพิจารณาวงจรที่ 2



รูปที่ 10.6 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าของวงจรขยายสัญญาณ ของวงจรขยายที่ 2

เอาท์พุตอิมพิแดนซ์วงจรขยาย

$$Z_{O2} = R_{C2}$$

$$\therefore \quad Z_O = Z_{O2}$$

สมการในการคำนวณหาค่าอัตราขยายแรงดันของคอมมอนอิมิตเตอร์ ดังสมการข้างล่าง

$$A_V = \frac{-h_{fe} \cdot R_C}{h_{ie}}$$

ตัวแปร R_C แปรความหมายว่าค่าความต้านทานทั้งหมดที่ต่ออยู่กับขาคอลเลกเตอร์ ดังนี้

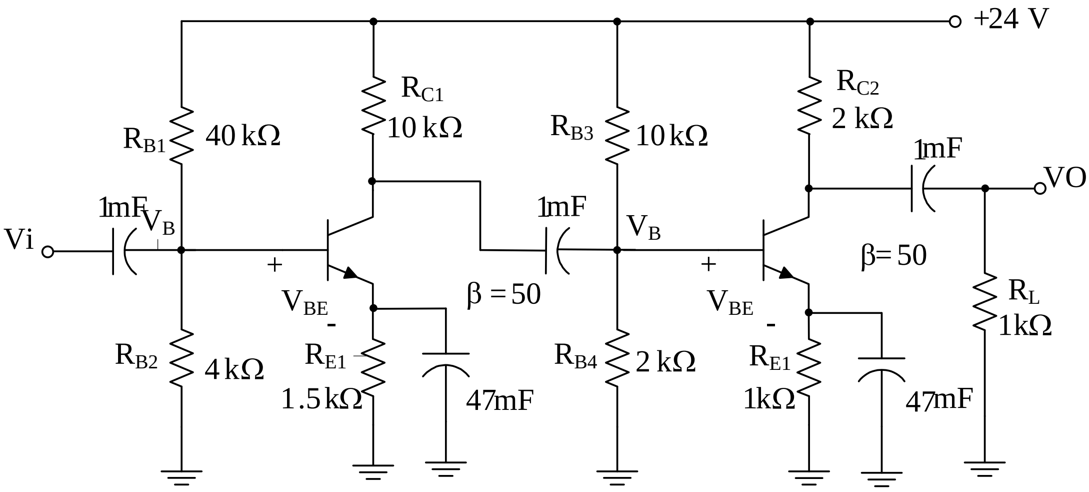
ดังนั้นอัตราขยายแรงดันวงจรขยายที่ 2 เมื่อเทียบตามสูตรจะได้ดังนี้

$$A_{V2} = \frac{-h_{fe2} \cdot (R_C // R_L)}{h_{ie2}}$$

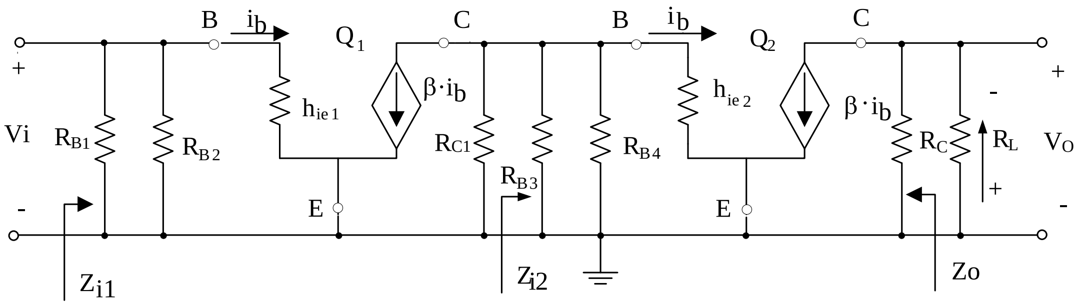
อัตราขยายรวมของวงจรก็จะได้จากการนำเอาอัตรายายทางสัญญาณของวงจรที่ 1 และ อัตรายายทาง สัญญาณของวงจรที่ 2 มาคูณกันดังสมการข้างล่าง

$$A_{VT} = A_{V1} \cdot A_{V2}$$

ตัวอย่างที่ 1 ให้คำนวณหา อินพุตและเอาท์พุตอิมพิแดนซ์ และอัตราขยายแรงดันรวมของวงจรกำหนดให้ทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 มีค่า $\beta = 50$ และ $h_{ie} = 500\Omega$ เท่ากัน

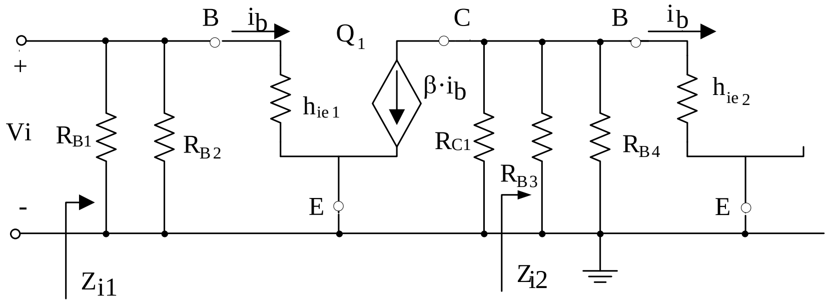


จากวงจรข้างบนจะมีวงจรไบอัสด้วยตนเอง 2 วงจรดังนั้นในการพิจารณาก็ต้องแยกออกเป็น 2 วงจร ตามหลักการวิเคราะห์หาผลทางด้านวงจรขยายสัญญาณ ดังรูปข้างล่าง



วิธีทำ

การพิจารณาวงจรที่ 1 ซึ่งโหลดของวงจรที่1 ก็คืออินพุตอิมพีแดนซ์ของวงจรที่ 2



อินพุตอิมพิแดนซ์

$Z_i = Z_{i1}$

$= R_{B1} // R_{B2} // h_{ie1}$

$= 20\ k\Omega // 4\ k\Omega // 0.5\ k\Omega$

$Z_i = 435\ \Omega$ **ตอบ**

เอาท์พุตอิมพิแดนซ์วงจรขยายที่ 1

$Z_{O1} = R_{C1}$

$Z_{O1} = 10\ k\Omega$

อัตราขยายแรงดันวงจรขยายที่ 1

$$A_{V1} = \frac{-h_{fe1} \cdot (R_{C1} // R_{L1})}{h_{ie1}}$$

ตัวแปรที่ไม่ทราบค่าและต้องหาเพิ่มเติมคือ R_{L1}

กำหนดให้ $R_{L1} = R_{B3} // R_{B4} // h_{ie2}$

$= 10\ k\Omega // 2\ k\Omega // 0.5\ k\Omega$

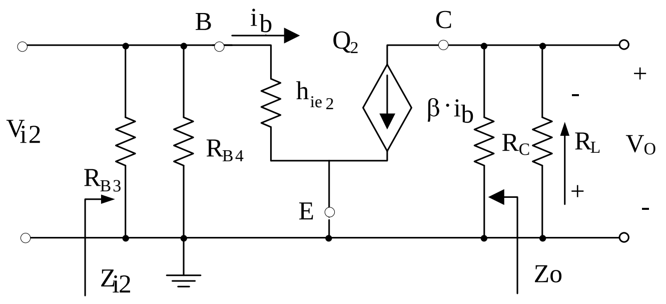
$R_{L1} = 385\ \Omega$

$$A_{V1} = \frac{-h_{fe1} \cdot (R_{C1} // R_{L1})}{h_{ie1}}$$

$$= \frac{-50 \times (10\ k\Omega // 385\Omega)}{500\Omega}$$

$A_{V1} = -37.07$ เท่า **ตอบ**

การพิจารณาวงจรที่ 2



เอาท์พุตอิมพิแดนซ์วงจรขยาย

$$Zo = R_{C2}$$

$$Zo = 2\ k\Omega$$ ตอบ

อัตราขยายแรงดันวงจรขยายที่ 2

$$A_{V2} = \frac{-h_{fe2} \cdot (R_{C2} // R_L)}{h_{ie2}}$$

$$= \frac{-50 \times (2\ k\Omega\ //\ 1k\Omega)}{500\ \Omega}$$

$$A_{V2} = -66.7$$ เท่า ตอบ

อัตราขยายสัญญาณรวมทั้งวงจรขยาย

$$A_{VT} = A_{V1} \cdot A_{V2}$$

$$= -37.07 \times -66.7$$

$$A_{VT} = 2472.5$$ เท่า ตอบ

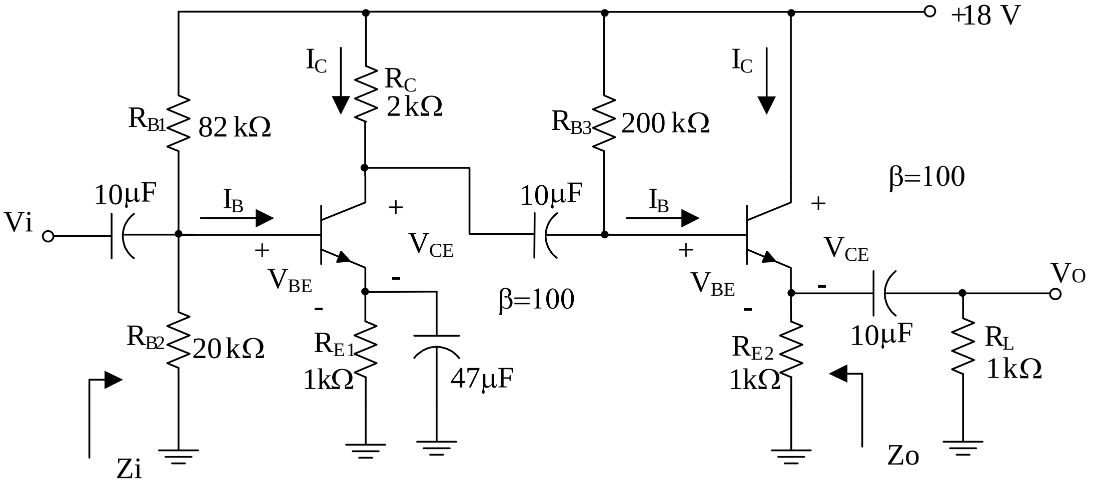
อัตราขยายกระแสรวมทั้งวงจรขยาย

$$|A_{iT}| = |A_{VT}| \cdot \left|\frac{Z_{i1}}{Z_L}\right|$$

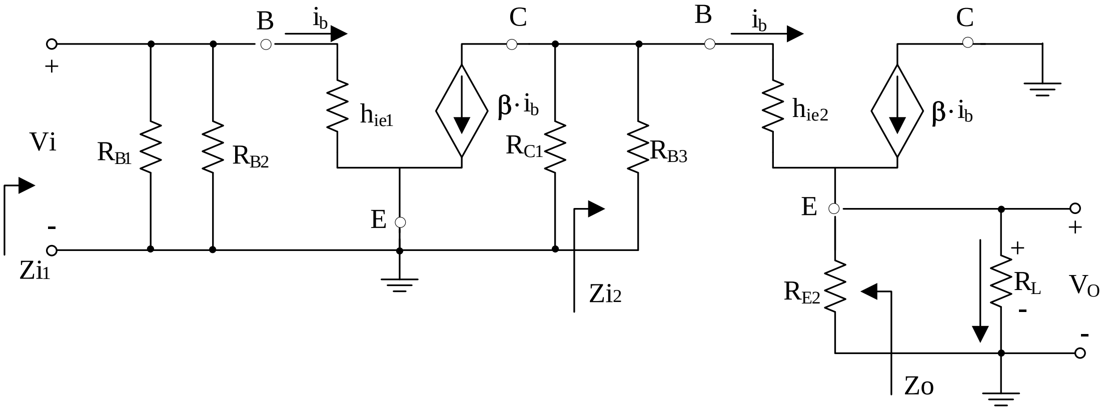
$$= 2472.5 \times \frac{435\,\Omega}{1\ K\Omega}$$

$$|A_{iT}| = 1075.56$$ เท่า ตอบ

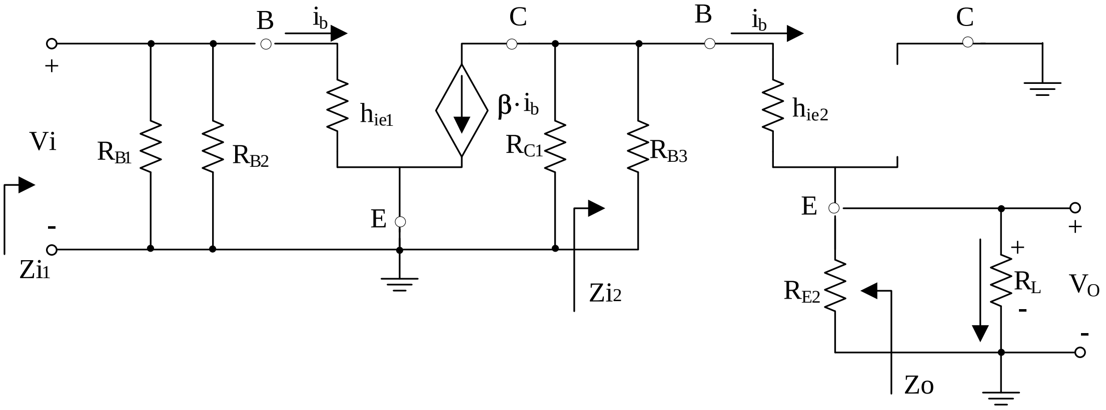
ตัวอย่างที่ 2 จากรูปจงคำนวณหาค่า Z_i , Z_O และ A_V



วิธีทำ เปลี่ยนจากวงจรไบอัสเป็นวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของวงจรขยายสัญญาณ



การพิจารณาวงจรขยายที่ 1



จากรูป หาอินพุตอิมพิแดนซ์ของวงจร ซึ่งก็คือ อินพุตอิมพิแดนซ์ของวงจรขยายที่ 1

$$Z_i = Z_{i1}$$

$$Z_i = R_{B1} // R_{B2} // \beta re$$

$$= 82\ k\Omega // 20\ k\Omega // 100 \times 10.74\ \Omega$$

$$Z_i = 1.074\ k\Omega$$ ตอบ

อัตราขยายแรงดันวงจรขยายที่ 1

$$A_{V1} = \frac{-h_{fe1} \cdot (R_{C1} // R_{L1})}{h_{ie1}}$$

$$= \frac{-(R_{C1} // R_{L1})}{r_{e1}}$$

กำหนดให้ $$R_{L1} = R_{B3} // \beta \cdot (R_{E2} // R_L)$$

$$= 200\ k\Omega // 100 \times (1\ k\Omega // 1\ k\Omega)$$

$$A_{V1} = \frac{-R_{C1} // \left(R_{B3} // \beta \cdot (R_{E2} // R_L) \right)}{r_{e1}}$$

$$= \frac{-2k\Omega // \left(200k\Omega // 100 \cdot (1k\Omega // 1k\Omega) \right)}{10.74\Omega}$$

$$A_{V1} = -186.22$$ เท่า ตอบ

การคำนวณวงจรที่ 2 ซึ่งเป็นวงจรขยายแบบคอมมอนคอลเล็กเตอร์ ซึ่งจากคุณสมบัติของวงจรแล้วอัตราขยาย แรงดันมีค่า ประมาณ 1 ดังนั้น

$$A_{V2} \approx 1$$ ตอบ

อัตราขยายแรงดันรวมทั้งวงจรขยาย

$$A_{VT} = A_{V1} \cdot A_{V2}$$

$$= -186.22 \times 1$$

$$A_{VT} = -186.22$$ เท่า ตอบ

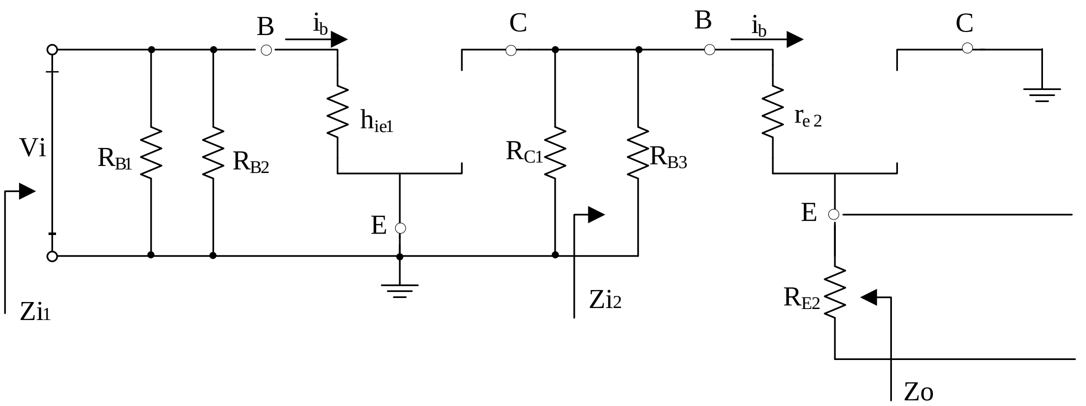
อัตราขยายกระแสรวมทั้งวงจรขยาย

$$|A_{iT}| = |A_{VT}| \cdot \left| \frac{Z_{i1}}{Z_L} \right|$$

$$= 186.22 \times \frac{1.074\ k\Omega}{1\,k\Omega}$$

$$A_{iT} = 200$$ เท่า ตอบ

การหาเอาท์พุตอิมพิแดนซ์ของวงจร ซึ่งจะต้องหาภายใต้เงื่อนไขแรงดันที่อินพุตมีค่าเท่า กับศูนย์ (นั่นก็คือต่อขั้วอินพุตบวกของ V_i ลงกลาวด์) จะเป็นผลให้กระแส $i_b = 0$ สัญลักษณ์ของแหล่งจ่ายกระแสจะถูกแทนด้วการเปิดวงจร และความต้านทาน R_{B1} , R_{B2} และ h_{ie1} มีค่าเป็นศูนย์โอห์ม ดังรูปข้างล่าง



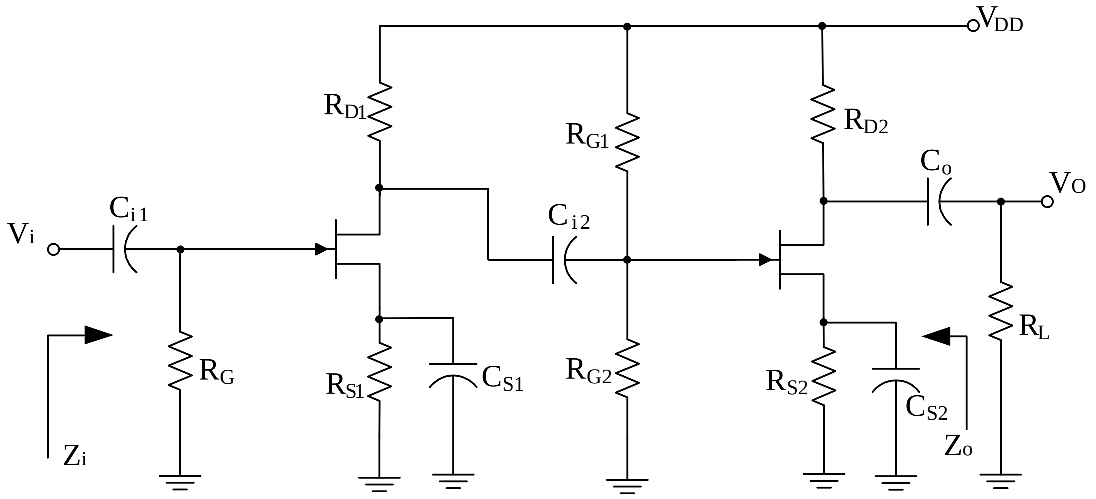
จะได้ค่า เอาท์พุตอิมพิแดนซ์

$$Z_O = R_{E2} \,//\, (r_{e2} + (R_{B3} \,//\, R_{C1}))$$

$$= 1\text{ k}\Omega \,//\, (4.51\Omega + (2\text{ k}\Omega \,//\, 200\text{ k}\Omega))$$

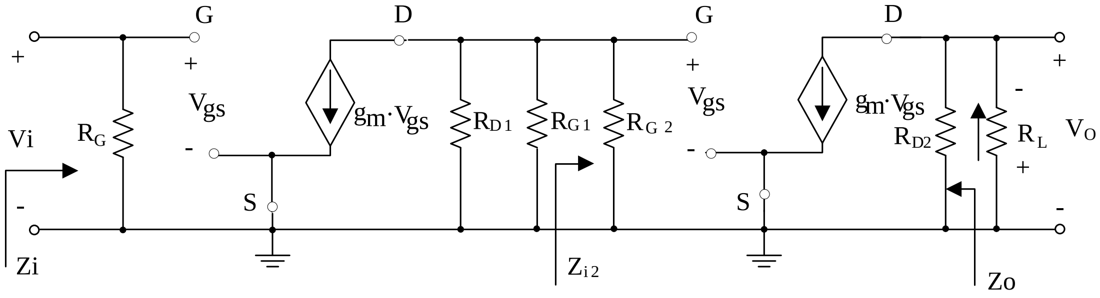
$$Z_O = 24.51\ \Omega$$ ตอบ

10.3 วงจรขยายแบบแคสเคดเจเฟต



รูปที่ 10.6 วงจรแคสเคดเฟต

จากรูปวงจรไบอัสเฟตจะต้องทำการเปลี่ยนให้เป็นวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของวงจรขยายสัญญาณก่อนที่จะวิเคราะห์หาอินพุตและ เอาท์พุตอิมพิแดนซ์ อัตราขยายแรงดันของวงจร



รูปที่ 10.7 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าของวงจรขยายสัญญาณวงจรแคสเคดฟต

เพื่อความสะดวกในการเรียนรู้เรื่องวงจรขยายแบบหลายภาค ซึ่งจากรูปจะเห็นว่าเป็นวงจรขยายคอมมอนซอร์ส แบบที่ไม่มีตัวต้านทาน R_S ดังนั้นจะขอยกสมการการหาอัตราขยายแรงดันของเฟตแบบไม่มีตัวต้านทาน R_S มาใช้งานเลย

$$A_V = -g_m \cdot R_D$$

จากสมการที่ยกมาเมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับวงจรแบบแคสเคด จะต้องทำการปรับเปลี่ยนตัวแปรให้ตรงกับวงจรใหม่ โดยที่ความต้านทาน R_D ก็หมายถึงความต้านทานที่ต่ออยู่ที่ขาเดรน

การพิจารณาวงจรที่ 1

จากรูปจะเห็นว่ามีความต้านทานที่ต่อกับขาเดรน ของวงจรขยายที่ 1 มีตัวต้านทานขนานกันอยู่ 3 ตัว เขียนเป็นสมการใหม่ได้ดังนี้

$$A_{V1} = -g_m \cdot (R_D // R_{G1} // R_{G2})$$

การพิจารณาวงจรที่ 2

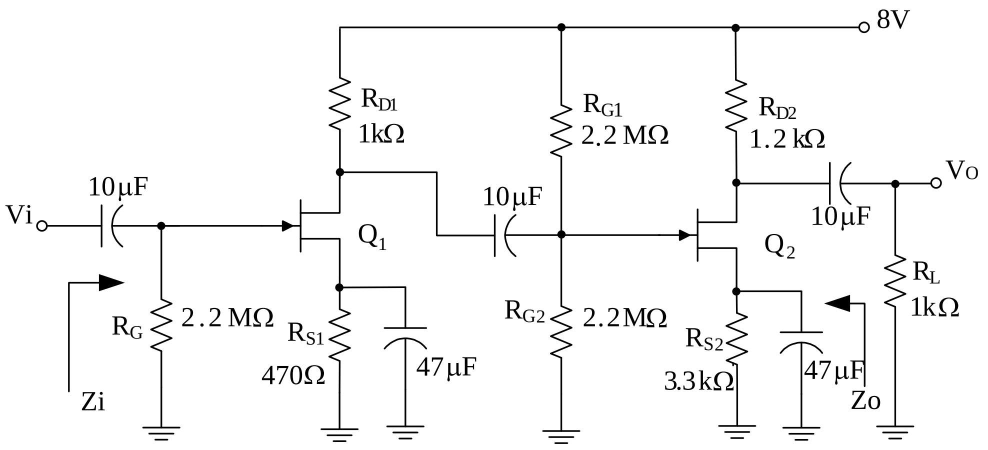
จากรูปจะเห็นว่ามีความต้านทานที่ต่อกับขาเดรน ของวงจรขยายที่ 2 มีตัวต้านทานขนานกันอยู่ 2 ตัว เขียนเป็นสมการใหม่ได้

$$A_{V2} = -g_m \cdot (R_D // R_L)$$

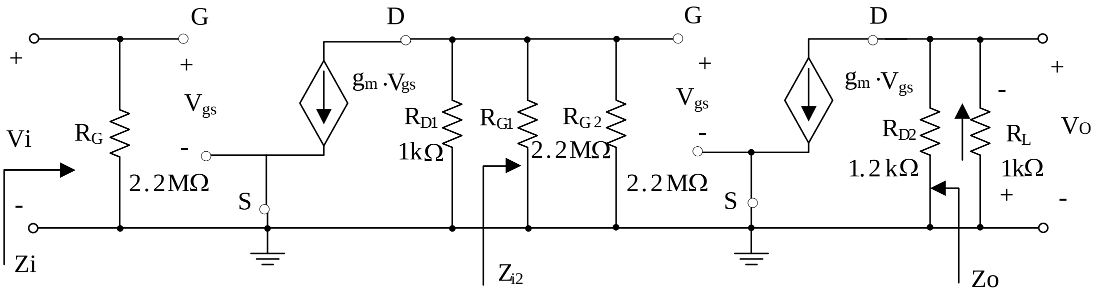
เพราะฉะนั้นอัตราขยายแรงดันรวมของวงจร

$$A_{VT} = A_{V1} \cdot A_{V2}$$

ตัวอย่างที่ 3 จากรูปจงคำนวณหาค่า Z_i , Z_O และ A_{VT} กำหนดให้ Q_1 มี I_{DSS} = 10 mA ,Vp = -8V I_{DQ} = 4.8 mA , V_{GSQ} = -2 V ส่วน Q_2 มี I_{DSS} = 5.5 mA , Vp = -4.5V , I_{DQ} = 1.8 mA ,V_{GSQ} = -1.6V



วิธีทำ จากวงจรที่ให้มาก็ทำการเปลี่ยนให้เป็นวงจรทางสัญญาณ เพื่อวิเคราะห์หาผลต่างๆ



จากรูปหาอินพุตอิมพิแดนซ์ของระบบ ซึ่งก็คือ อินพุตอิมพิแดนซ์ของวงจรขยายที่ 1

$$Z_i = Z_{i1}$$

$$Z_i = R_G$$

$$Z_i = 2.2\ M\Omega$$ ตอบ

หาเอาท์พุตอิมพิแดนซ์ของระบบ ซึ่งก็คือ เอาท์พุตอิมพิแดนซ์ของวงจรขยายที่ 2

$$Z_O = R_{D2}$$

$$Z_O = 1.2\ k\Omega$$ ตอบ

หาอัตราขยายแรงดันของวงจรที่ 1 จากสมการ $A_V = -g_m \cdot R_D$ ความต้านทาน R_D ก็หมายถึงความต้านทานที่ต่ออยู่ที่ขาเดรนของเฟตทั้งหมด มีค่าเท่ากับ

$$R_D = R_{D1} // R_{G1} // R_{G2}$$

$$= 1k\Omega \ //\ 2.2M\Omega \ //\ 2.2M\Omega$$

$$R_D = 1\ k\Omega$$

$$\therefore A_{V1} = -g_m \cdot R_D$$

จากสมการการหาอัตราขยายทางแรงดัน ตัวแปรที่ยังไม่ทราบค่าคือค่าความนำ g_m ซึ่งจะต้องคำนวณ ตามสูตข้างล่าง

$$g_m = g_{mo} \cdot \left[1 - \frac{V_{GS}}{V_p}\right]$$

$$g_{mo} = \frac{2 \cdot I_{DSS}}{|V_p|}$$

$$g_{mo} = \frac{2 \cdot 10mA}{8}$$

$$g_{mo} = 2.5\ mS$$ ตอบ

$\therefore \quad g_m = 2.5\text{ ms} \times \left[1 - \dfrac{-2V}{-8V}\right]$

$g_m = 1.875\text{ mS}$

$\therefore \quad A_{V1} = -1.875\text{ mS} \times 1\text{ k}\Omega$

$A_{V1} = -1.875$ ตอบ

หาอัตราขยายแรงดันของวงจรขยายที่ 2

$A_{V2} = -g_m \cdot (R_D \;//\; R_L)$

$g_m = g_{mo} \cdot \left[1 - \dfrac{V_{GS}}{V_p}\right]$

$g_{mo} = \dfrac{2 \cdot I_{DSS}}{|V_p|}$

$= \dfrac{2 \cdot 5.5\text{ mA}}{4.5}$

$g_{mo} = 2.44\text{ mS}$

$\therefore \quad g_m = 2.44\text{ mS} \times \left[1 - \dfrac{-1.6V}{-4.5V}\right]$

$g_m = 1.574\text{ mS}$

$\therefore \quad A_{V2} = -g_m \cdot (R_D \;//\; R_L)$

$= -1.574\text{ mS} \times (1.2\text{ k}\Omega \;//\; 1\text{ k}\Omega)$

$A_{V2} = -0.854$ เท่า ตอบ

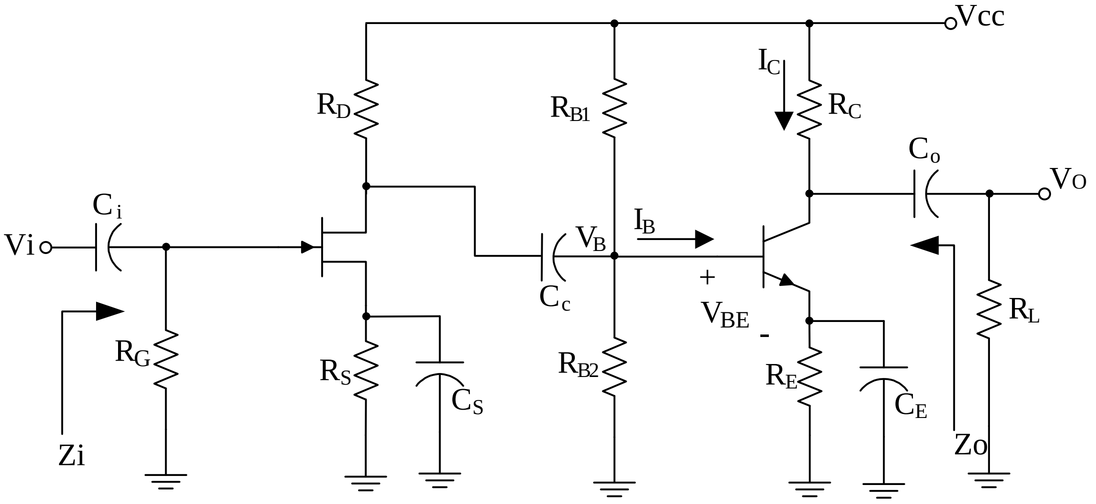
อัตราขยายแรงดันรวมของวงจร

$A_{VT} = A_{V1} \cdot A_{V2}$

$= -1.875 \times -0.854$

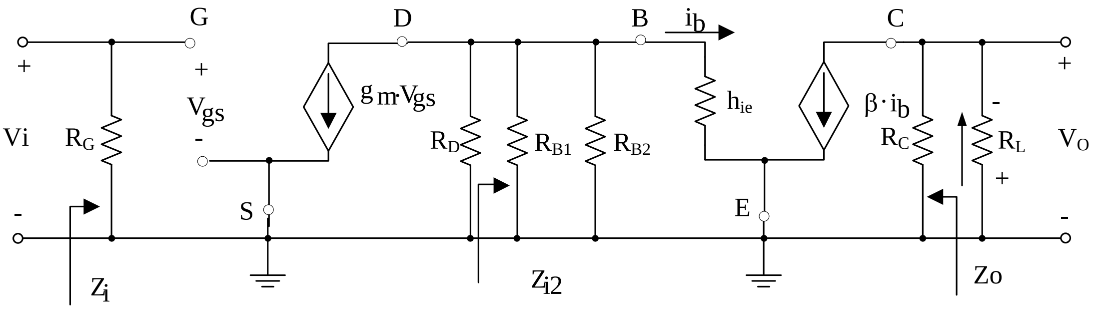
$A_{VT} = 1.6$ ตอบ

10.4 วงจรขยายแบบแคสเคดทรานซิสเตอร์ เจเฟต



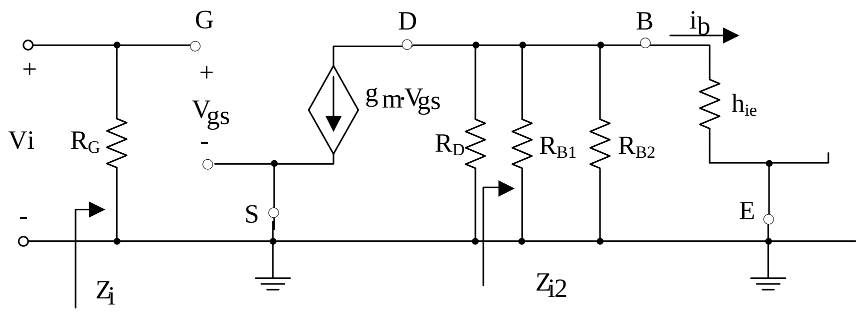
รูปที่ 10.8 การต่อวงจรแคสเคดระหว่าง เฟตกับทรานซิสเตอร์

จากรูปที่ 10.8 เป็นการต่อวงจรแคสเคดระหว่าง เฟตกับทรานซิสเตอร์ ซึ่งการวิเคราะห์ก็เหมือนกับขั้นตอนการวิเคราะห์วงจรแคสเคดเฟตหรือวงจรทรานซิสเตอร์ ซึ่งจะต้องทำการเปลี่ยน ให้เป็นวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของวงจรขยายสัญญาณก่อนที่จะวิเคราะห์หา อินพุตอิมพิแดนซ์ เอาท์พุตอิมพิแดนซ์ และ อัตราขยายแรงดันของวงจร



รูปที่ 10.9 การเขียนวงจรขยายแบบแคสเคดทรานซิสเตอร์ เจเฟต

พิจารณาวงจรที่ 1



รูปที่ 10.10 การเขียนวงจรทางสัญญาณของวงจรขยายที่ 1

จากรูป อินพุตอิมพิแดนซ์ของวงจร ซึ่งก็คือ อินพุตอิมพิแดนซ์ของวงจรขยายที่ 1

$$Z_i = Z_{i1}$$

$$Z_i = R_G$$

หาอัตราขยายแรงดันของวงจรขยายที่ 1

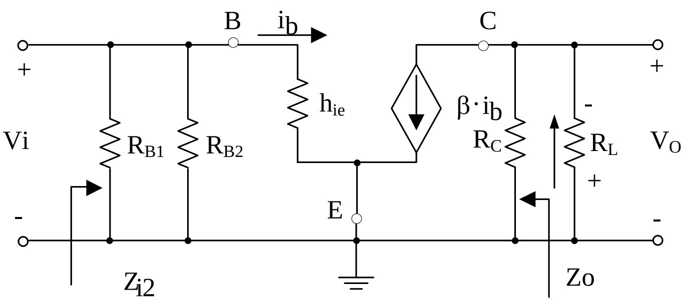
จากสมการการหาอัตราขยายแรงดันของวงจรเฟต แบบไม่มีตัวต้านทาน R_S ดังสมการข้างล่าง

$$A_V = -g_m \cdot R_D$$

จากสมการความต้านทาน R_D หมายถึงความต้านทานที่ต่ออยู่ที่ขาเดรนของเฟต จากรูปจะเห็นว่ามีความต้านทานที่ต่ออยู่กับขาเดรน มีตัวต้านทานต่อขนานกันอยู่ 4 ตัว จึงเขียนเป็นสมการใหม่ได้ดังนี้

$$A_{V1} = -g_m \cdot (R_D \,//\, R_{B1} \,//\, R_{B2} \,//\, h_{ie})$$

พิจารณาวงจรที่ 2 ; $\beta = h_{fe}$



รูปที่ 11 การเขียนวงจรทางสัญญาณของวงจรขยายที่ 2

จากรูป เอาท์พุตอิมพิแดนซ์ของระบบ ก็คือความต้านทาน R_C ของวงจรขยายที่ 2

$$Z_O = R_C$$

การหาอัตราขยายแรงดันของวงจรขยายที่ 2

จากสมการอัตราขยายแรงดันของวงจรทรานซิสเตอร์แบบไม่มีตัวต้านทาน R_E ดังสมการข้างล่าง

$$A_V = \frac{-h_{fe} \cdot (R_C//R_L)}{h_{ie}}$$

$$A_V = \frac{(R_C//R_L)}{r_e}$$

เพราะฉะนั้น

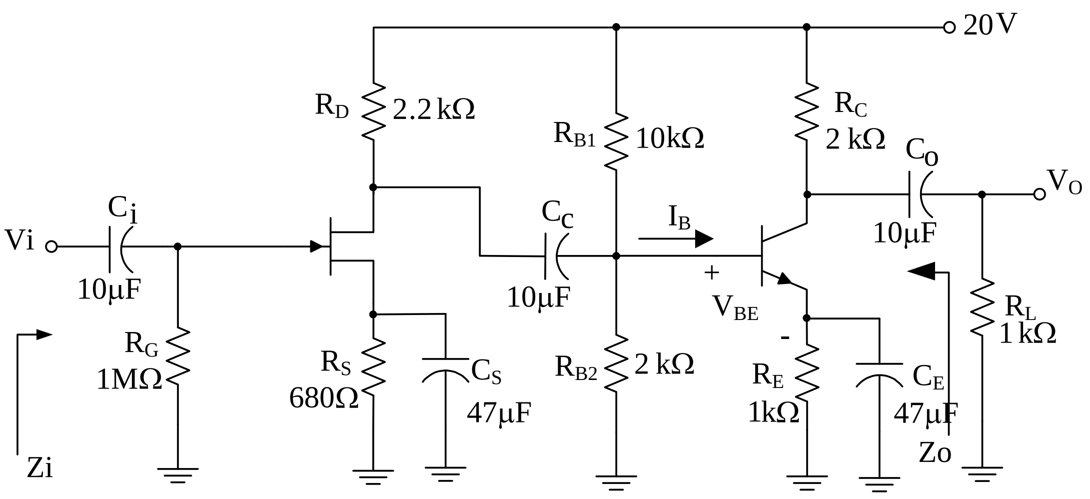
$$A_{V2} = \frac{-h_{fe} \cdot (R_C//R_L)}{h_{ie1}}$$

$$A_{V2} = \frac{(R_C//R_L)}{r_{e1}}$$

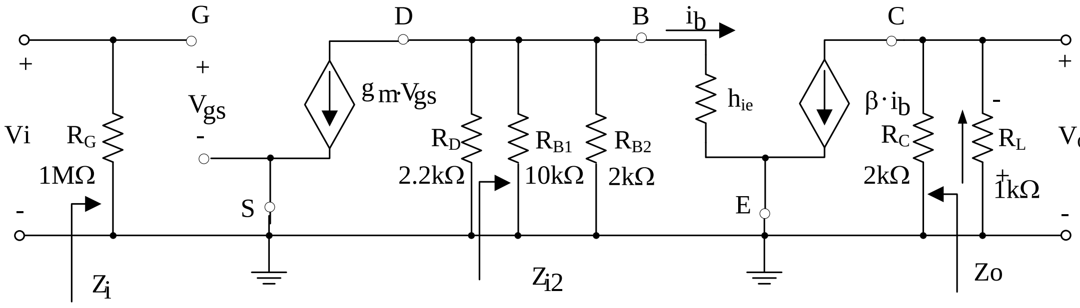
เพราะฉะนั้นอัตราขยายแรงดันรวมของวงจร

$$A_{VT} = A_{V1} \cdot A_{V2}$$

ตัวอย่างที่ 4 จากรูปจงคำนวณหาค่า Z_i , Z_O และ A_{VT} กำหนดให้ h_{fe} = 50 h_{ie} = 500Ω ส่วนของ JFET กำหนดให้ I_{DSS} = 4 mA , Vp = -6V , I_{DQ} = 2.2 mA , V_{GSQ} = -1.25 V



วิธีทำ



จากรูปหาอินพุตอิมพิแดนซ์ของระบบ ซึ่งก็คือ อินพุตอิมพิแดนซ์ของวงจรขยายที่ 1

$Z_i = Z_{i1}$

$= R_G$

$Z_i = 1\ M\Omega$ ตอบ

จากวงจรเอาท์พุตอิมพิแดนซ์ของระบบ จะได้

$Z_O = R_C$

$Z_O = 2\ k\Omega$ ตอบ

การหาอัตราขยายแรงดันของวงจรขยายที่ 1 จากสมการ

$A_V = -g_m \cdot R_D$

ความต้านทาน R_D หมายถึงความต้านทานที่ต่ออยู่ที่ขาเดรนของเฟต

$R_D = R_D // R_{B1} // R_{B2} // h_{ie1}$

$= 2.2\ k\Omega // 10\ k\Omega // 2\ k\Omega // 500\ \Omega$

$= (2.2\ k\Omega // 10\ k\Omega) // (2\ k\Omega // 500\ \Omega)$

$R_D = 327\ \Omega$ ตอบ

การคำนวณหาค่าความนำ g_m

$$g_m = g_{mo} \cdot \left[1 - \frac{V_{GS}}{V_p}\right]$$

$$g_{mo} = \frac{2 \cdot I_{DSS}}{|V_p|}$$

$$= \frac{2 \times 4\ mA}{6}$$

$g_{mo} = 1.22\ mS$ ตอบ

$$g_m = 1.22\ mS \times \left[1 - \frac{-1.25\ V}{-6\ V}\right]$$

$$g_m = 0.965\ \ mS$$

∴ จาก $A_{V1} = -\,g_m \cdot R_D$

$$= -\,0.965\ mS \times 327\ \Omega$$

$A_{V1} = -\,0.315$ ตอบ

การหาอัตราขยายแรงดันของวงจรขยายที่ 2

$$A_{V2} = \frac{-h_{fe} \cdot (R_C // R_L)}{h_{ie1}}$$

$$= \frac{-50 \times (2\,k\Omega // 1\,k\Omega)}{500\,\Omega}$$

$A_{V2} = -\,66.7$ เท่า ตอบ

เพราะฉะนั้นอัตราขยายแรงดันรวมของวงจร

$$A_{VT} = A_{V1} \cdot A_{V2}$$

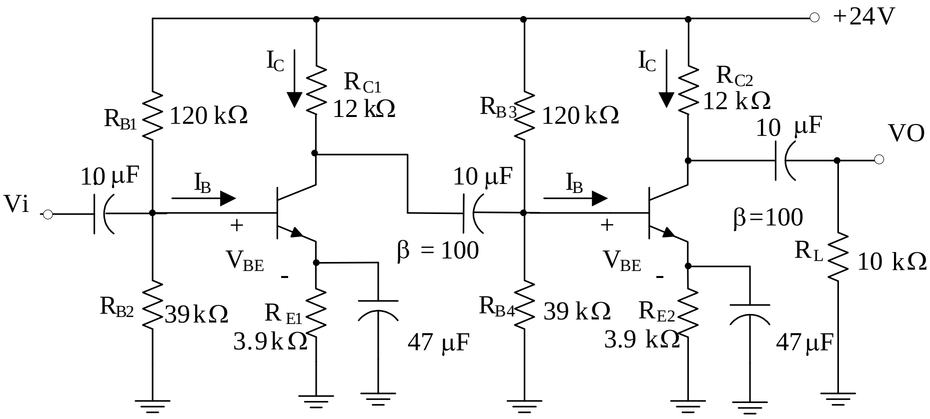
$$= -\,0.315 \times -\,66.7$$

$A_{VT} = 21.01$ เท่า ตอบ

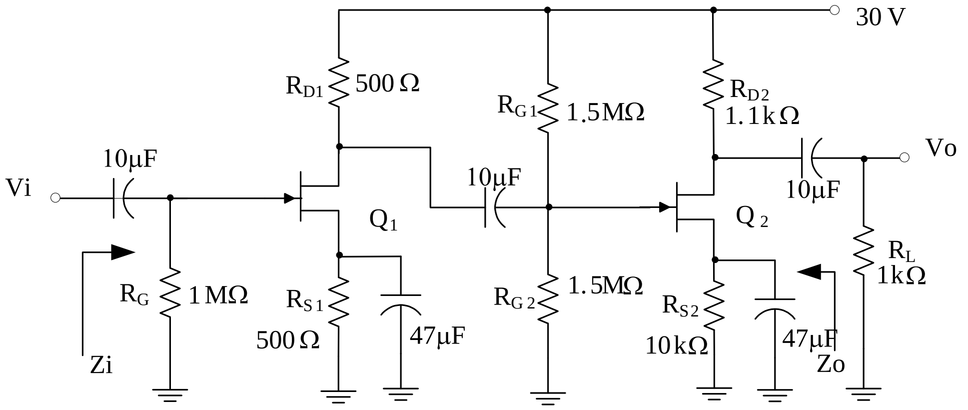
แบบฝึกหัดประจำหน่วยที่ 10
วงจรวงจรขยายหลายภาค

จงแสดงวิธีการคำนวณหาค่าต่างๆของวงจร

1.จากรูป ให้คำนวณหาอินพุทและเอาท์พุทอิมพีแดนซ์และหาอัตราขยายของวงจร กำหนดให้ทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 มีค่า β = 100 และ h_{ie} = 1 kΩ



2. จากรูปที่ 2 ให้คำนวณหาอินพุทและเอาท์พุทอิมพีแดนซ์และหาอัตราขยายของวงจรกำหนด ให้คุณสมบัติ ของเฟททั้ง 2 ตัวมีพารามิเตอร์เหมือนกันคือ กระแส I_{DSS} = 16 mA แรงดัน $V_{GS(off)}$ = V_P = -8 V และ แรงดันจุดทำงานของ Q_1 มีV_{GSQ} = -3 V ของ Q_2 มีV_{GSQ} = -5 V



....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

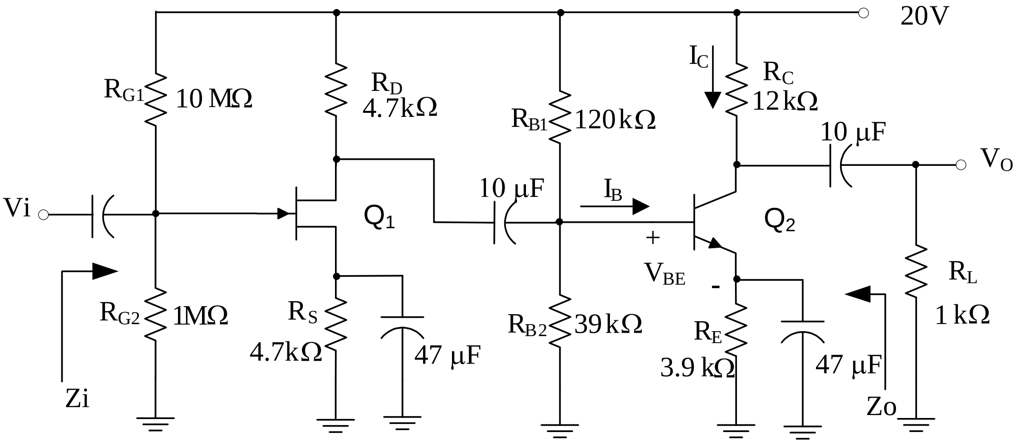
....

....

....

....

3. จากรูปที่ 2 ให้คำนวณหาอินพุทและเอาท์พุทอิมพีแดนซ์และหาอัตราขยายของวงจรกำหนด ให้คุณสมบัติ ของเฟทมี กระแส I_{DSS} = 16 mA และแรงดัน $V_{GS(off)} = V_P$ = -8 V และ Q_2 มีอัตราขยายทางกระแส β = 40



....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

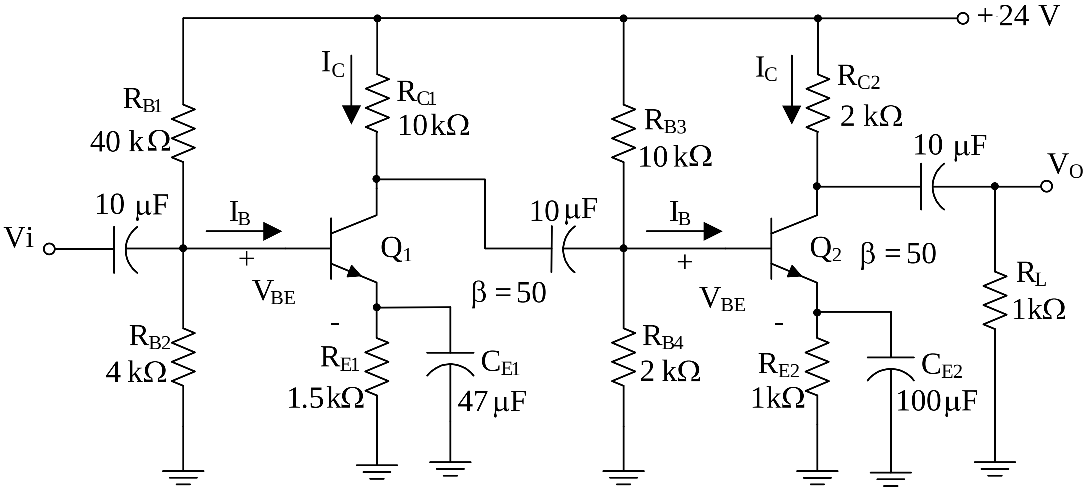
....

แบบทดสอบหลังเรียนหน่วยที่ 10

เรื่องวงจรขยายหลายภาค

คำสั่ง จงทำเครื่องหมายกากบาท (X) ลงบนข้อคำตอบที่ถูกที่สุด

จากวงจรข้างล่างให้ตอบคำถามตั้งแต่ข้อ 1 ถึงข้อ 4



1. กระแส I_C ของทรานซิสเตอร์ Q_1 มีค่าเท่าใด

ก. 0.987 mA

ข. 1 mA

ค. 2.18 mA

ง. 1.45 mA

2. กระแส I_C ของทรานซิสเตอร์ Q_2 มีค่าเท่าใด

ก. 2.4 mA

ข. 3.3 mA

ค. 4 mA

ง. 0.7 mA

3.อัตราขยายแรงดันของวงจรขยาย Q_1 มีค่าเท่าใด

ก. – 11.84

ข. – 14.23

ค. – 57.69

ง.– 384.61

4.อัตราขยายแรงดันของวงจรขยาย Q_2 มีค่าเท่าใด

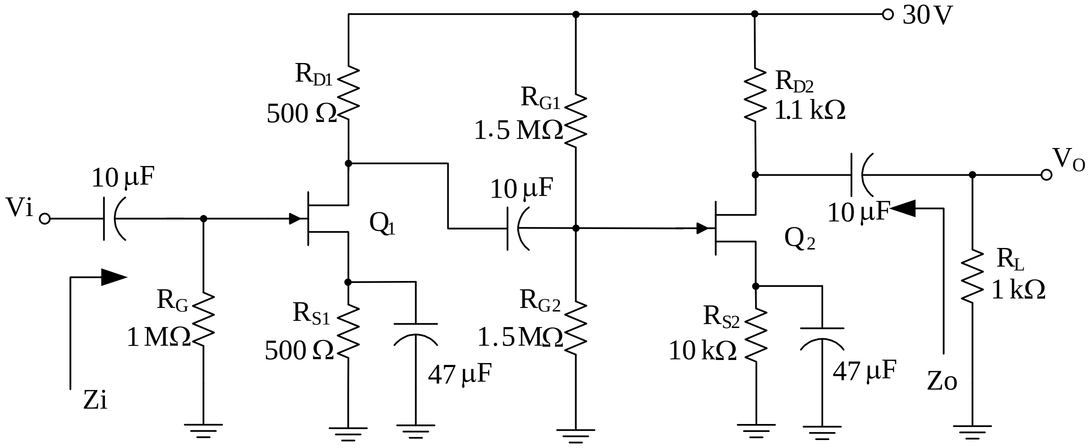
ก. – 83.75

ข. – 253.8

ค. – 25.38

ง. – 126.9

จากวงจรข้างล่างให้ตอบคำถามตั้งแต่ข้อ 5 ถึงข้อ 8 กำหนดให้คุณสมบัติของเฟตทั้ง 2 ตัวมีพารามิเตอร์เหมือนกันคือ กระแส I_{DSS} = 16 mA และแรงดัน $V_{GS(off)} = V_P$ = -8 V



5. จากรูป แรงดัน V_{GS} ของวงจรขยาย Q_1มีค่าเท่าใด

ก. – 8 V

ข. – 5 V

ค. – 4 V

ง. – 3 V

6. จากรูป แรงดัน V_{GS} ของวงจรขยาย Q_2 มีค่าเท่าใด

ก. – 3 V

ข. – 4 V

ค. – 5 V

ง. – 8 V

7. จากรูป อัตราขยายแรงดันของวงจรขยาย Q_1 มีค่าเท่าใด

ก. – 2

ข. – 1.25

ค. – 1

ง. – 0.75

8. จากรูป อัตราขยายแรงดันของวงจรขยาย Q_2 มีค่าเท่าใด

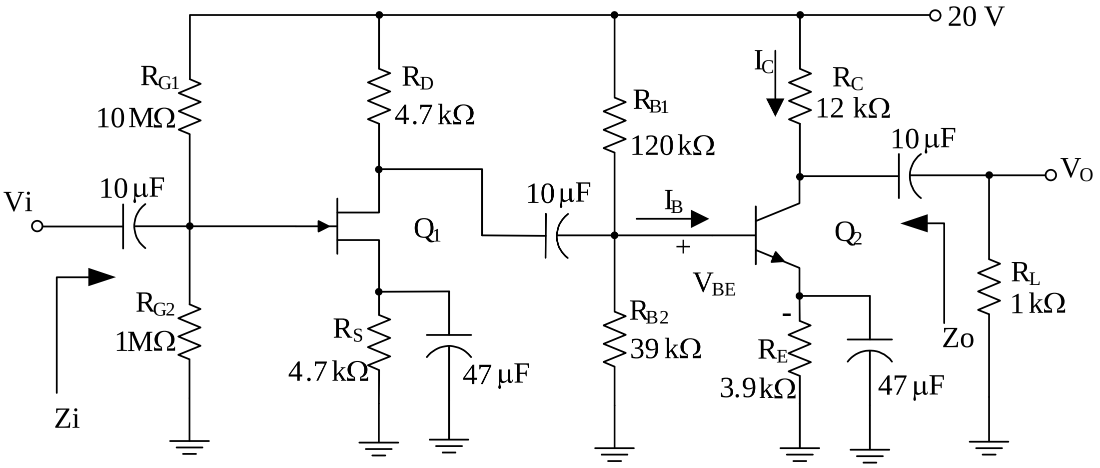
ก. – 1.65

ข. – 1.5

ค. – 2

ง. – 2.68

จากวงจรข้างล่างให้ตอบคำถามตั้งแต่ข้อ 9 ถึงข้อ 10 กำหนดให้คุณสมบัติของเฟตมี กระแส I_{DSS} = 16 mA และแรงดัน $V_{GS(off)} = V_P$ = -8 V และ Q_2 มีอัตราขยายทางกระแส β = 40



9. จากรูปให้หาอัตราขยายของวงจรขยาย Q_1มีค่าเท่าใด

ก. – 1.64

ข. – 5.64

ค. – 4.74

ง. – 4.64

10. จากรูปให้หาอัตราขยายของวงจรขยาย Q_2มีค่าเท่าใด

ก. – 461.53

ข. – 150.53

ค. – 512

ง. – 40

เฉลยแบบทดสอบหลังเรียน

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