มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

การสอบกลางภาค ประจำภาคการศึกษาที่ 1 **ประจำปีการศึกษา 2557**

วันที่ 16 ตุลาคม 2557 **เวลา 09.00-12.00น.**

วิชา 212-331, 210-232 วงจรและระบบอิเล็กทรอนิกส์ Electronic Circuits and Systems **ห้อง หัวหุ่นยนต์, S101**

คำสั่ง

1. ข้อสอบชุดนี้มีทั้งหมด 6 ข้อ (มี 7 หน้ารวมปก) ควรตรวจสอบก่อนลงมือทำ
2. อนุญาตให้นำเฉพาะเครื่องเขียนและเครื่องคิดเลขเข้าห้องสอบ
3. อนุญาตให้ใช้ดินสอหรือปากกาก็ได้ในการเขียนคำตอบและให้เขียนคำตอบในสมุดคำตอบเท่านั้น
4. ถ้านักศึกษาเขียนในสิ่งที่ผิดหลักการอย่างร้ายแรงจะได้รับคะแนนติดลบ
5. **ไม่มีคะแนนสำหรับคำตอบที่ไม่มีการวิเคราะห์หรือไม่มีคำอธิบายที่เป็นเหตุเป็นผล**

กำหนดให้

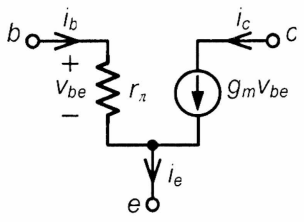
- แรงดันเทอร์มัลมีค่า V_T = 26mV ที่อุณหภูมิห้อง 27°C
- เมื่อทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่าร์ (BJT) ทำงานในย่าน forward active แรงดัน V_{BEON} จะมีค่า 0.7 โวลต์
- สมการความสัมพันธ์ของทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่าร์ (BJT) สำหรับสัญญาณขนาดใหญ่คือ

$$I_c = I_S \exp\left(\frac{V_{be}}{V_T}\right) \tag{1.1}$$

โดยถ้ารวมผลของปรากฏการณ์เออรี่ด้วยสมการจะเปลี่ยนเป็น

$$I_c = I_S \exp\left(\frac{V_{be}}{V_T}\right)\left(1+\frac{V_{ce}}{V_A}\right) \tag{1.2}$$

- สมมติให้ small-signal model ของ BJT เป็นดังรูปที่ 1.1 (นอกจากจะมีการกำหนดเฉพาะ)



รูปที่ 1.1

ผู้ออกข้อสอบ: นาย ภาณุมาส คำสัตย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

1. จากวงจรในรูปที่ 1.ก เป็นวงจรป้อนกลับลบเริ่มต้นที่ใช้ในการพัฒนาเพื่อให้ได้วงจรลบสัญญาณแรงดัน (voltage difference amplifier) ซึ่งจากรูปนี้มีสมการความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณแรงดันคือ

$$v_o = \left(1 + \frac{R_B}{R_A}\right) v_{x2} - \left(\frac{R_B}{R_A}\right) v_{x1}$$

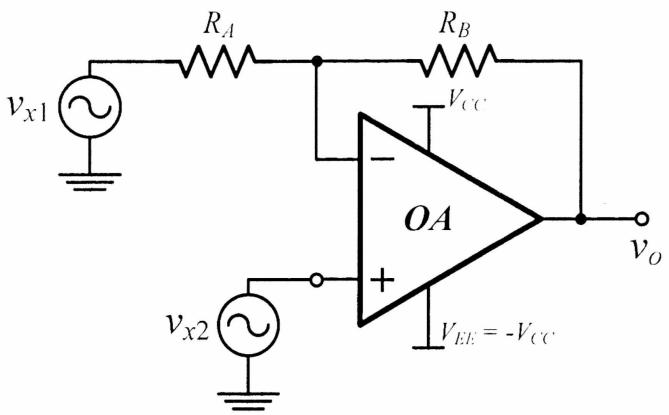
ถ้าต้องการทำการออกแบบเพื่อให้ได้วงจรขยายตามสมการต่อไปนี้ โดยมีแรงดันอินพุท 3 แหล่งสัญญาณ และให้ได้เอาท์พุท v_o

$$v_o = \frac{R_B}{R_A}\left(v_{in1} - v_{in2} + v_{in3}\right)$$

(ก) จะต้องต่อเติมหรือดัดแปลงวงจรอย่างไรบ้าง ให้พิสูจน์พร้อมให้เหตุผลในการออกแบบ โดยสามารถใช้อุปกรณ์ต่อไปนี้เพิ่มเติมได้คือ

+ ตัวต้านทานค่าใดๆ 3 ตัว (จะใช้ไม่ครบก็ได้)

(ข) โดยต้องแสดงความสัมพันธ์ของค่าตัวต้านทานที่ใช้กับค่า R_A, R_B ตามความเหมาะสมเพื่อให้ได้สมการที่ต้องการ

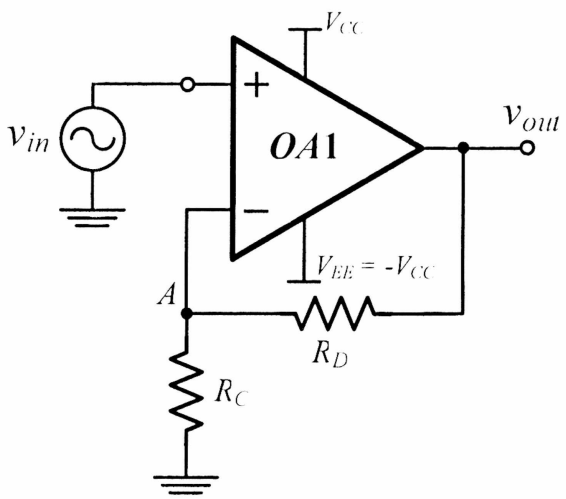


รูปที่ 1.ก

2. ออกแบบวงจรเพื่อให้ทำหน้าที่เลียนแบบวงจรขยาย non-inverting amplifier ในรูปที่ 1.2 (คือได้อัตราขยายโดยประมาณเป็น $1+R_D/R_C$) โดยที่ไม่มีออปแอมป์ให้ใช้มีแต่เพียงอุปกรณ์ต่อไปนี้ (จะไม่ใช้ครบทุกตัวก็ได้)

- ทรานซิสเตอร์เอ็นพีเอ็น 2 ตัว
- ตัวต้านทานค่าใดๆจำนวน 7 ตัว (โดยมี R_C, R_D รวมอยู่ในนี้ด้วย)
- ตัวเก็บประจุค่าใดๆจำนวน 2 ตัว
- แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงเดี่ยว 5 โวลต์
- สมมุติให้แหล่งจ่ายสัญญาณแรงดัน v_{in} เป็นอุดมคติ (นั่นคือความต้านทานด้านเข้าของวงจรขยายที่ออกแบบไม่ต้องเป็นอนันต์ก็ได้)

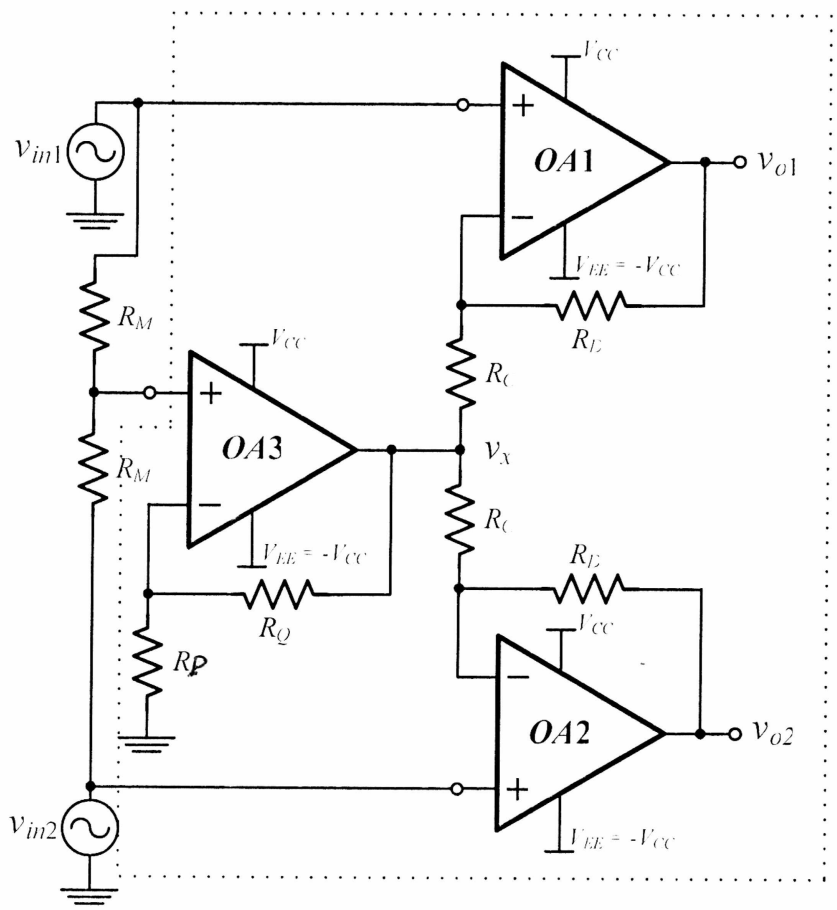
ในการออกแบบให้นักศึกษาคำนวณค่าแรงดันและกระแสไบอัสทุกจุดภายในวงจร (โดยประมาณ)



รูปที่ 1.2

3. จากวงจรในรูปที่ 1.3 ซึ่งเป็นภาคหน้าของวงจร instrumentation amplifier ที่ได้ผ่านการดัดแปลงเพื่อทำให้ common-mode gain มีค่าเป็นศูนย์ (เมื่อมีการเลือกค่าตัวต้านทานอย่างเหมาะสม) โดยที่ยังสามารถขยายสัญญาณโหมดต่างได้ (นั่นคือทำให้ CMRR = ∞) แต่ปัญหาสำคัญของวงจรนี้คือค่าความต้านทานด้านเข้าโหมดต่าง r_{in} ของวงจรขึ้นอยู่กับความต้านทาน R_M ซึ่งไม่สามารถมีค่าเป็นอนันต์ได้ ดังนั้นเมื่อนำไปใช้งานจริงจะเป็นปัญหาที่สัญญาณแรงดันจะมาปรากฏที่อินพุทของวงจรมีขนาดเล็ก

ให้นักศึกษา ดัดแปลงวงจรนี้เพื่อทำให้ common-mode gain ยังคงมีค่าเป็นศูนย์และขยายสัญญาณโหมดต่างได้เช่นเดิม (นั่นคือ CMRR = ∞) แต่มีความต้านทานขาเข้าโหมดต่างมีค่าเป็นอนันต์ โดยให้นศ.นำเสนอวงจรโดยไม่ให้ใช้อุปกรณ์ใดๆเพิ่มเติมแต่สามารถปรับเปลี่ยนการต่อ $OA3$, R_M, R_P, R_Q ได้ตามความเหมาะสม
สมมุติให้ออปแอมป์ทุกตัวที่ใช้เป็นอุดมคติ
โดยนศ.จะต้องวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ต่างๆของวงจรที่ออกแบบเพื่อทำให้ CMRR = ∞



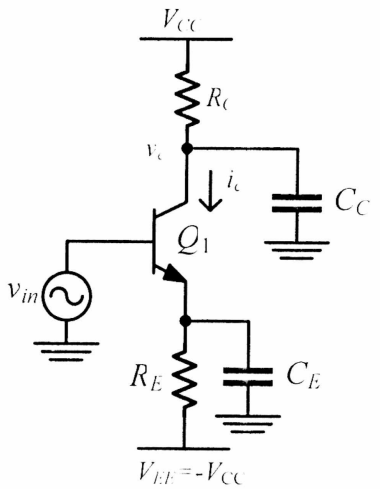
รูปที่ 1.3

4. จากวงจรขยายในรูปที่ 1.4(ก) ให้ใช้แบบจำลองของทรานส์ซิสเตอร์เอ็นพีเอ็น (สำหรับสัญญาณขนาดเล็กมาก) ในรูปที่ 1.4 (ข) เพื่อคำนวณหาสัญญาณกระแสคอลเลคเตอร์ i_c และสัญญาณแรงดัน v_c เมื่อสัญญาณแรงดันอินพุทเป็นดังแสดงในรูปที่ 1.4(ค) และให้วาดสัญญาณที่คำนวณได้เทียบกับสัญญาณ v_{in} ด้วย ใน 2 กรณีเมื่อ

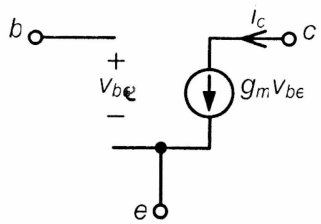
(ก) $R_E = R_C = 1\text{k}\Omega$, $C_E = C_C = 1\text{nF}$

(ข) $R_E = 1\text{k}\Omega$, $R_C = 2\text{k}\Omega$, $C_E = 1\text{nF}$, $C_C = 2\text{nF}$

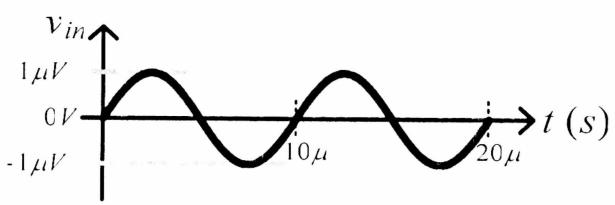
โดยกำหนดให้ $V_{CC} = 5\text{V}$



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 1.4

5. สมมุติให้วงจรในรูปที่ 1.5(ก), (ข) ใช้ออปแอมป์และทรานซิสเตอร์อุดมคติทั้งหมด และเมื่อใช้แรงดันคงที่ V_{CC}, V_{EE}, V_{DC}, V_{DCA}, V_{DCB} ที่เหมาะสม ทรานซิสเตอร์และออปแอมป์สามารถทำงานได้

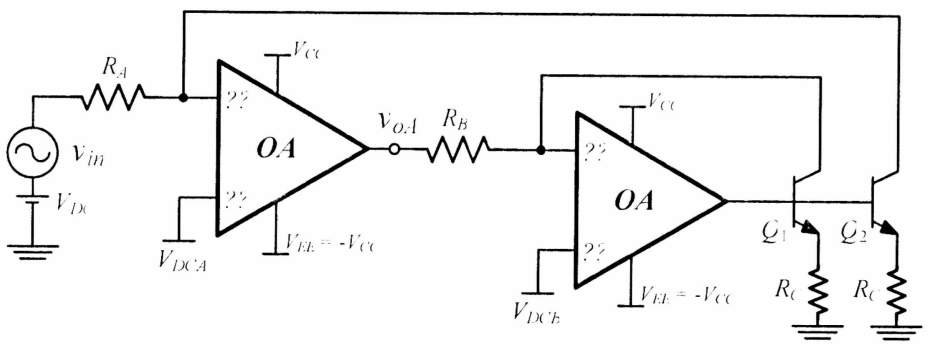
(a) ให้ใส่เครื่องหมาย +, – แทนที่เครื่องหมาย ?? ในทั้งสองวงจรตามความเหมาะสมพร้อมคำอธิบายเพื่อทำให้ลูปทุกลูปเป็นการป้อนกลับลบ

(b) เมื่อวงจรสามารถทำงานได้ตามข้อ (a) ให้ประมาณหาแรงดันไบอัสทุกจุดภายในวงจรทั้งสอง โดยอาจจะต้องติดอยู่ในรูปของ V_{CC}, V_{EE}, V_{DC}, V_{DCA}, V_{DCB}, R_A, R_B, R_C ตามความเหมาะสม

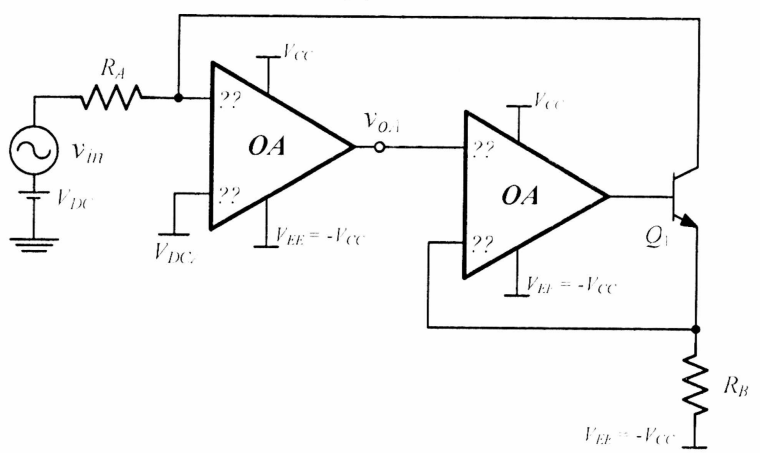
(c) เมื่อวงจรสามารถทำงานได้ตามข้อ (a) ให้ประมาณหากระแสไบอัสของทรานซิสเตอร์ทุกตัวภายในวงจรทั้งสอง โดยอาจจะต้องติดอยู่ในรูปของ V_{CC}, V_{EE}, V_{DC}, V_{DCA}, V_{DCB}, R_A, R_B, R_C ตามความเหมาะสม (สมมุติว่ากระแสเบสมีค่าน้อยมาก)

(d) ให้หาสมการของสัญญาณแรงดัน v_{OA} ภายในวงจรทั้งสอง โดยอาจจะต้องติดอยู่ในรูปของ v_{in}, V_{CC}, V_{EE}, V_{DC}, V_{DCA}, V_{DCB}, R_A, R_B, R_C ตามความเหมาะสม (สมมุติว่ากระแสเบสมีค่าน้อยมาก)

หมายเหตุ: เมื่อทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่าร์ (BJT) ทำงานในย่าน forward active แรงดัน V_{BEON} จะมีค่าประมาณ 0.7 โวลต์



(ก)



(ข)

รูปที่ 1.5

6. ให้ทำการวิเคราะห์แบบ large signal โดยใช้สมการ

$$I_c = I_S \exp\left(\frac{V_{bc}}{V_T}\right)$$

เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณแรงดัน v_{out} กับ v_{in} (ซึ่งมีขนาดเล็กมาก) ของวงจรในรูปที่1.6 โดยให้ใช้การประมาณเมื่อสัญญาณแรงดัน v_{be} มีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับแรงดันเทอร์มัล V_T นั้นสามารถตัดเทอมที่ไม่เป็นเชิงเส้นออกไปได้ (ให้คำตอบในรูปของ g_m, R_C, R_E ได้ตามความเหมาะสม)

จากคำตอบที่ได้ข้างต้นให้พิสูจน์เปรียบเทียบว่าการวิเคราะห์แบบ large signal นี้ ได้คำตอบตรงกับการวิเคราะห์ที่อาศัย small-signal model หรือไม่ อย่างไร

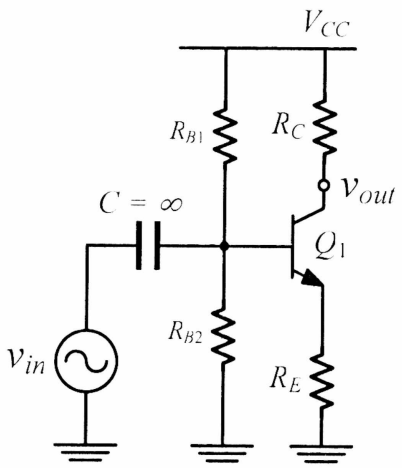
หมายเหตุ:

(1) ทรานซิสเตอร์เป็นอุดมคติและสามารถละเลยกระแสเบสได้ ($r_\pi = \infty$)

(2) $g_m = I_C/V_T$, เมื่อ I_C คือกระแสคอลเลคเตอร์ที่ไบอัสทรานส์ซิสเตอร์

(3) ฟังก์ชัน exponential เขียนอยู่ในรูปผลบวกอนุกรมได้คือ

$$\exp(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{x^n}{n!}$$



รูปที่ 1.6