มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

การสอบกลางภาค ประจำภาคการศึกษาที่ 2 **ประจำปีการศึกษา 2554**

วันที่ 22 ธันวาคม 2554 **เวลา 09.00-12.00น.**

วิชา 210-232 วงจรและระบบอิเล็กทรอนิกส์ Electronic Circuits and Systems **ห้อง A401, S201**

<u>คำสั่ง</u>

1. ข้อสอบชุดนี้มีทั้งหมด 5 ข้อ ควรตรวจสอบก่อนลงมือทำ
2. อนุญาตให้นำเฉพาะเครื่องเขียนและเครื่องคิดเลขเข้าห้องสอบ
3. อนุญาตให้ใช้ดินสอหรือปากกาก็ได้ในการเขียนคำตอบและ<u>**ให้เขียนคำตอบในสมุดคำตอบเท่านั้น**</u>
4. <u>ถ้านักศึกษาเขียนในสิ่งที่ผิดหลักการอย่างร้ายแรงจะได้รับคะแนนติดลบ</u>
5. ไม่มีคะแนนสำหรับคำตอบที่ไม่มีการวิเคราะห์หรือไม่มีคำอธิบายที่เป็นเหตุเป็นผล
6. การสอบครั้งนี้นับเป็นคะแนนสะสม 40 เปอร์เซ็นต์ของคะแนนทั้งหมด

กำหนดให้

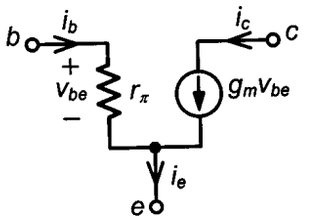
- แรงดันเทอร์มัลมีค่า $V_T = 26\text{mV}$ ที่อุณหภูมิห้อง 27°C
- สมมติให้เมื่อทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่าร์ (BJT) ทำงาน แรงดัน V_{BEON} จะมีค่า 0.7 โวลต์โดยประมาณ
- สมการความสัมพันธ์ของทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่าร์ (BJT) สำหรับสัญญาณขนาดใหญ่คือ

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

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

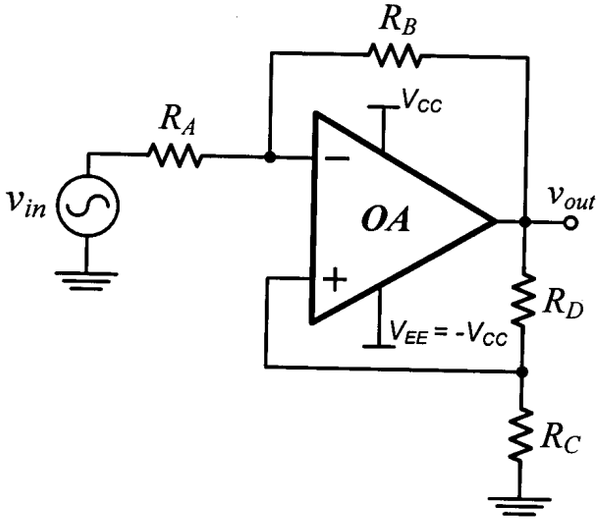
ผู้ออกข้อสอบ: นาย ภาณุมาส คำสัตย์

1. จากวงจรสองวงจรในรูปที่ 1.2 ซึ่งใช้ออปแอมป์อุดมคติ

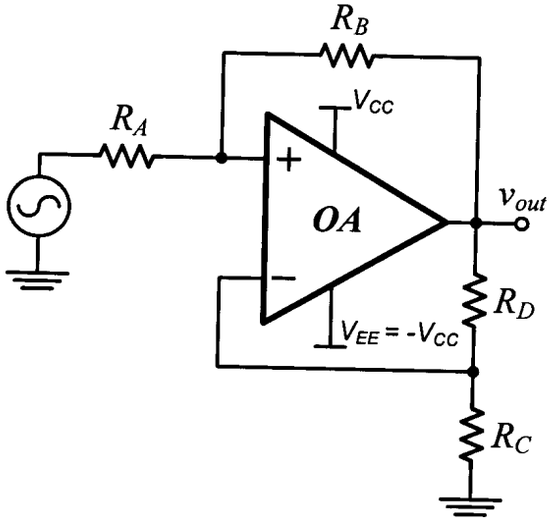
(ก) ให้ทำวิเคราะห์หาเงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่าง R_A, R_C, R_B และ R_D เพื่อทำให้วงจรทั้งสองวงจรเป็นวงจรป้อนกลับลบถึงแม้ว่าจะมีการป้อนกลับที่ขาอินพุทด้านบวกก็ตาม

(ข) จากการออกแบบวงจรจนได้การป้อนกลับลบที่ถูกต้องในข้อ (ก) ให้วิเคราะห์หาสัญญาณ v_{out} ของทั้งสองวงจร โดยให้คำตอบในเทอมของ v_{in}, R_A, R_B, R_C และ R_D

(๖ คะแนน)



(ก)



(ข)

รูปที่ 1.2

2. ให้ออกแบบวงจรวงจรแปลงสัญญาณ Digital-to-Analog Converter (DAC) ซึ่งทำการแปลงการลบเลขดิจิตอลขนาด 4 บิต สองจำนวน ($a_3a_2a_1a_0$) และ ($b_3b_2b_1b_0$) เพื่อให้ได้ตามสมการโดยประมาณเป็น

$$v_{out} \cong K\left[\left(b_3 2^3 + b_2 2^2 + b_1 2^1 + b_0 2^0\right) - \left(a_3 2^3 + a_2 2^2 + a_1 2^1 + a_0 2^0\right)\right] \quad (1.3)$$

เมื่อ $a_0, \ldots, a_3$ และ $b_0, \ldots, b_3$ คือดิจิตอลบิตของเลขดิจิตอลสองจำนวนซึ่งควบคุมโดยสวิทช์
โดย K คือค่าคงที่บวก โดยกำหนดให้ใช้อุปกรณ์ต่อไปนี้เท่านั้น

- ออปแอมป์เป็นอุดมคติ 1 ตัวเท่านั้น
- ตัวต้านทานค่าใดๆจำนวนกี่ตัวก็ได้
- ทรานซิสเตอร์เอ็นพีเอ็นและพีเอ็นพีจำนวนกี่ตัวก็ได้ (ไม่อนุญาตให้ใช้สวิทช์อุดมคติ)
- แหล่งจ่ายแรงดันไฟเลี้ยงคู่ 1 คู่ V_{CC}, $V_{EE} = -V_{CC}$

ถ้าจำเป็นต้องมีการประมาณให้บอกเงื่อนไขในการประมาณเพื่อให้ได้ตามสมการที่ต้องการ
จากวงจรที่ออกแบบให้แสดงด้วยว่าค่า K ขึ้นอยู่กับค่าอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบอย่างไรบ้าง

(๘ คะแนน)

3. จากวงจรในรูปที่ 1.3(a) เป็นวงจรส่วนหน้าของวงจรขยายเครื่องมือซึ่งประกอบด้วยออปแอมป์สองตัว *OA*1, *OA*2 ซึ่งมีอัตราขยายสัญญาณโหมดต่างสำหรับ v_{o1} และ v_{o2} คือ

$$A_{dm} = 1 + \frac{R_D}{R_C} \tag{1.4}$$

และอัตราขยายสัญญาณโหมดร่วมสำหรับ v_{o1} และ v_{o2} คือ

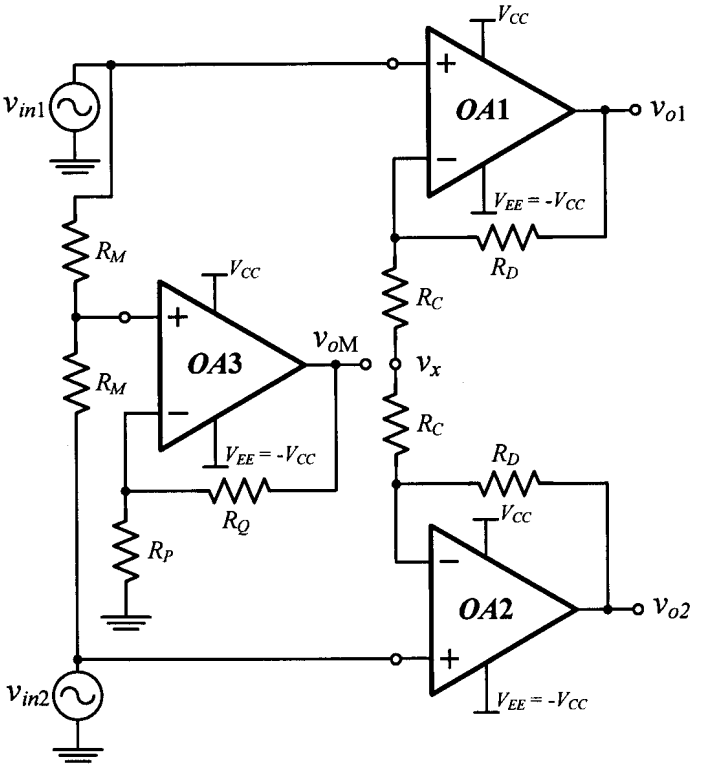
$$A_{cm} = 1 \tag{1.5}$$

โดยมีวงจรเสริมเพิ่มขึ้นมาคือวงจรรวมสัญญาณแบบไม่กลับเฟสซึ่งใช้ออปแอมป์ *OA*3 และตัวต้านทาน R_M, R_P, R_Q เพื่อทำหน้าตรวจสอบสัญญาณโหมดร่วมที่เข้ามาที่อินพุททั้งสอง

จงใช้อุปกรณ์ที่มีอยู่ในรูปที่ 1.3(a) เท่านั้นออกแบบวงจร เพื่อทำให้อัตราขยาย A_{dm} ไม่เปลี่ยนแปลงแต่ทำให้อัตราขยาย A_{cm} กลายเป็นศูนย์ (นั่นคือเราจะได้ CMRR เป็นอนันต์) ในการออกแบบให้ปรับหรือเปลี่ยนแปลงโครงสร้างตามความจำเป็น และการเลือกใช้ความสัมพันธ์ของค่าตัวต้านทานระหว่าง R_D, R_C, R_Q, R_P, R_M ที่เหมาะสม

ให้วิเคราะห์ประกอบการออกแบบ โดยสมมติให้ออปแอมป์เป็นอุดมคติ

(๑๐ คะแนน)

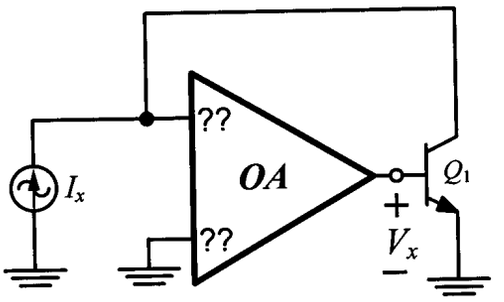


รูปที่ 1.3

4.

(ก) จากรูปที่ 1.4 ให้ออกแบบพร้อมการอธิบายเพื่อทำให้กระแส I_x ไหลเข้าไปในคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q_1 โดยการทำให้ระบบเป็นการป้อนกลับลบโดยใช้ออปแอมป์ดังรูป โดยให้ขาอินพุท (+ หรือ -) ที่เหมาะสมแทนเครื่องหมาย "??" (โดยสมมติว่าออปแอมป์เป็นอุดมคติและยังไม่ต้องกังวลเรื่องการไบอัส)

(๑ คะแนน)



รูปที่ 1.4

(ข) จากการออกแบบวงจรที่ถูกต้องในรูปที่ 1.4 ให้วิเคราะห์หาแรงดันสัญญาณขนาดใหญ่ (large signal) V_x ในเทอมของ I_x, R, V_T, I_S ตามความเหมาะสม โดยไม่จำเป็นต้องคิดผลจากปรากฏการณ์เออรี่ (โดยสมมติว่าออปแอมป์เป็นอุดมคติและยังไม่ต้องกังวลเรื่องการไบอัส)

(๑ คะแนน)

(ค) ใช้ความรู้จากข้อ (ก) – (ข) จงออกแบบวงจรเพื่อนำไปใช้ประมวลสัญญาณแรงดันแบบ large signal สองสัญญาณที่มาจากแหล่งจ่ายอุดมคติ V_{in1} และ V_{in2} เพื่อให้ได้ความสัมพันธ์

$$v_{out} = k\sqrt{V_{in1}^2 - V_{in2}^2} \tag{1.6}$$

โดยที่ยังไม่ต้องกังวลเรื่องการไบอัสและ k คือค่าคงที่ใดๆ มีข้อแนะนำในการออกแบบโดยใช้ความจริงทางคณิตศาสตร์ต่อไปนี้

$$\ln(x \cdot y) = \ln(x) + \ln(y) \tag{1.7}$$

$$\ln\left(\frac{x}{y}\right) = \ln(x) - \ln(y) \tag{1.8}$$

$$\exp(\ln(x)) = x \tag{1.9}$$

วงจรที่ออกแบบจะต้องอยู่ภายใต้ข้อกำหนดดังนี้เท่านั้น

- ใช้ทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่าร์ชนิด NPN จำนวนกี่ตัวก็ได้
- ใช้ออปแอมป์อุดมคติจำนวนกี่ตัวก็ได้ ใช้ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำ อุดมคติค่าใดๆจำนวนเท่าใดก็ได้
- อนุญาตให้ใช้แหล่งจ่ายแรงดันคงที่และแหล่งจ่ายกระแสคงที่อุดมคติค่าใดๆจำนวนกี่ตัวก็ได้
- วิเคราะห์และเขียนสมการความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณแรงดันอินพุทและเอาท์พุทของวงจรที่ออกแบบ (หาค่า k ด้วย)

(๘ คะแนน)

5. ดัดแปลงวงจรขยายอิมิตเตอร์ร่วมในรูปที่ 1.5 เพื่อให้ได้วงจรรวมและลบสัญญาณแรงดัน v_{s1}, v_{s2}, v_{s3} ซึ่งเป็นแหล่งจ่ายสัญญาณแรงดันที่มีขนาดเล็กมาก เพื่อให้เป็นไปตามสมการ

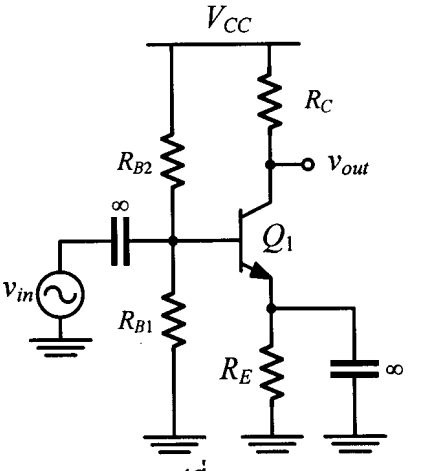
$$v_{out} = k\left(\frac{v_{s1} + 2v_{s2} - 3v_{s3}}{3}\right) \tag{1.10}$$

โดยให้ใช้อุปกรณ์จากวงจรเดิม ยกเว้นว่าอนุญาตให้ใช้ไฟเลี้ยงคู่ได้โดยมีไฟเลี้ยงลบ $V_{EE} = -V_{CC}$ เพิ่มขึ้นมาได้ โดยที่เมื่อต่อวงจรที่ออกแบบกับโหลดที่เป็นตัวต้านทาน R_L ซึ่งต่อลงกราวนด์จะไม่มีผลกระทบต่อการไบอัสของวงจร

จากวงจรที่ได้ทำการออกแบบให้วิเคราะห์หาค่า k โดยให้คำตอบอยู่ในเทอมของ V_{CC}, R_{B1}, R_{B2}, R_E, V_T, R_L ตามความเหมาะสม (ไม่อนุญาตให้ติดคำตอบอยู่ในรูปของ g_m) และให้กำหนดความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุปกรณ์ตามความเหมาะสมถ้ามีความจำเป็น

แนวคิด: การออกแบบให้ประมาณการทำงานของทรานซิสเตอร์ไบโพล่าร์เป็นเชิงเส้นและสมมติให้สามารถละเลยกระแสเบสภายในทรานซิสเตอร์ได้

(๖ คะแนน)



รูปที่ 1.5