**มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์**

**คณะวิศวกรรมศาสตร์**

**การสอบกลางภาค ประจำภาคการศึกษาที่ 2** **ประจำปีการศึกษา 2555**

**วันที่ 18 ธันวาคม 2555** **เวลา 09.00-12.00น.**

**วิชา 210-232 วงจรและระบบอิเล็กทรอนิกส์ Electronic Circuits and Systems** **ห้อง R200**

---

คำสั่ง

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

กำหนดให้

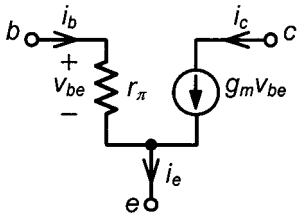
- แรงดันเทอร์มัลมีค่า $V_T = 26\text{mV}$ ที่อุณหภูมิห้อง $27^\circ\text{C}$
- เมื่อทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่าร์ (BJT) ทำงานในย่าน forward active แรงดัน $V_{BEON}$ จะมีค่า 0.7 โวลต์
- สมการความสัมพันธ์ของทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่าร์ (BJT) สำหรับสัญญาณขนาดใหญ่คือ

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

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**

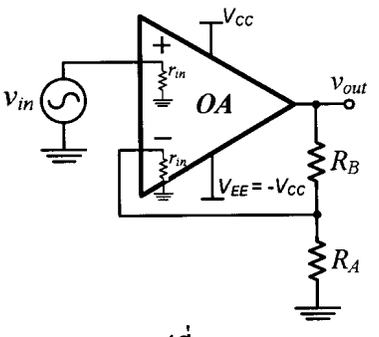
ผู้ออกข้อสอบ: นาย ภาณุมาส คำสัตย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**1.** จากวงจร Non-inverting amplifier ในรูปที่ 1.2 ซึ่งใช้ออปแอมป์ที่มี $r_{in} \neq \infty, r_{out} = 0$ และอัตราขยายของออปแอมป์มีค่าเป็นอนันต์

(ก) ให้ใช้ความเข้าใจอธิบายว่าสัญญาณแรงดันที่เอาท์พุทจะมีขนาด เท่ากับหรือมากกว่าหรือน้อยกว่าเมื่อเทียบกับขนาดของ $\left|\left(1+\frac{R_B}{R_A}\right)v_{in}\right|$ (ห้ามใช้สมการอธิบาย)

(ข) ให้ทำการวิเคราะห์วงจร (circuit analysis) หาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมเพื่อพิสูจน์คำตอบในข้อ (ก)

(๖ คะแนน)




**รูปที่ 1.2**

**2.** ให้ทำการออกแบบวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอล 4 บิตเป็นสัญญาณแอนาลอก โดยให้มีคุณสมบัติเป็นไปตามตาราง ที่ 1.1 ซึ่งมีลอจิก "1" และ "0" แทนด้วยแรงดัน 5 V และ 0V ตามลำดับ

กำหนดให้ใช้

- ออปแอมป์อุดมคติไม่เกิน 2 ตัว
- ตัวต้านทานค่าใดๆ (ค่าบวกเท่านั้น) จำนวนเท่าใดก็ได้
- แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงคู่หรือไฟเลี้ยงเดี่ยวค่าใดๆก็ได้

(๑๐ คะแนน)

**ตารางที่ 1.1 ตารางการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนาลอก**

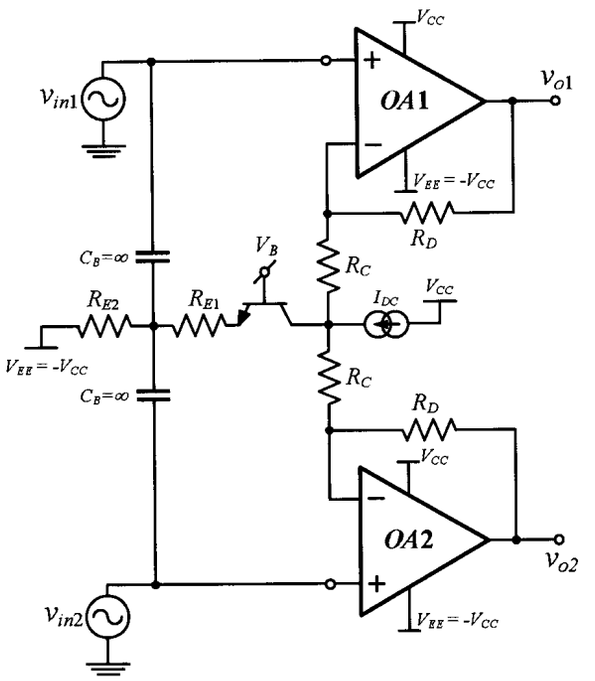
| อินพุทดิติตอล | แรงดันเอาท์พุทแอนาลอก (V) |
|---|---|
| 0000 | 0 |
| 0001 | +1 |
| 0010 | -2 |
| 0011 | -1 |
| 0100 | +4 |
| 0101 | +5 |
| 0110 | +2 |
| 0111 | +3 |
| 1000 | -8 |
| 1001 | -7 |
| 1010 | -10 |
| 1011 | -9 |
| 1100 | -4 |
| 1101 | -3 |
| 1110 | -6 |
| 1111 | -5 |

**3.** จากวงจรในรูปที่ 1.3 สมมติให้ออปแอมป์ทั้งสองตัวเป็นอุดมคติ

(ก) ให้ออกแบบหาสมการความสัมพันธ์ระหว่าง $V_B$, $V_{CC}$, $R_{E1}$, $R_{E2}$ และ $I_{DC}$ เพื่อทำให้กระแสดีซีในตัวต้านทาน $R_C$ ทั้งสองตัวมีค่าเป็นศูนย์แอมแปร์

(ข) จากการออกแบบในข้อ (ก) ให้พิจารณาเฉพาะสัญญาณที่มีขนาดเล็กมากเพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่าง $R_{E1}$, $g_m$, $R_C$, $R_D$ ที่ทำให้ common-mode gain = 0 และ differential-mode gain $\neq 0$ (นั่นคือจะได้ CMRR = $\infty$) เมื่อ $g_m$ คือค่าทรานส์คอนดัคแตนซ์ของทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในวงจร

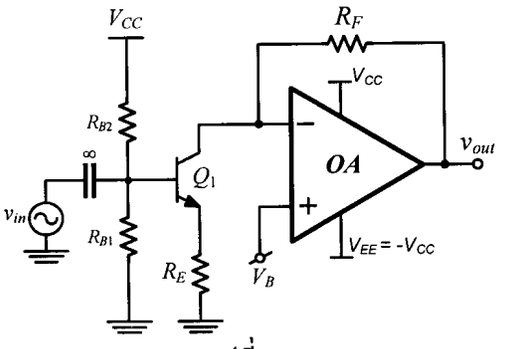
(๑๔ คะแนน)




**รูปที่ 1.3**

**4.**

(ก) จากรูปที่ 1.4 ให้ออกแบบวงจรขยายโดยหาค่าแรงดันดีซี $V_B$ ว่าอย่างน้อยต้องมีค่าเท่าใดเพื่อทำให้วงจรเกิดการขยายสัญญาณแรงดันได้ ถ้า $V_{CC} = 5\text{V}$, $R_{B1} = R_{B2} = 10\text{k}\Omega$, $R_E = 1\text{k}\Omega$, $V_{BEon} \cong 0.7\text{V}$, $V_{CEsat} = 0.2\text{V}$ โดยกำหนดให้ ทรานซิสเตอร์ทำงานให้ย่านฟอร์วาร์ดแอคทีฟสามารถละเลยกระแสเบสได้และไม่จำเป็นต้องคิดผลจากปรากฏการณ์เออรี่ และสมมุติว่าออปแอมป์เป็นอุดมคติ




**รูปที่ 1.4**

(ข) จากวงจรที่ออกแบบในข้อ (ก) ให้หาอัตราขยายสัญญาณแรงดันเอซีขนาดเล็กมาก $v_{out}/v_{in} = ?$ โดยให้ตอบคำตอบอยู่ในรูปของ $R_E$, $R_F$, $R_{B1}$, $R_{B2}$, $g_m$, $V_B$ ตามความเหมาะสม

(๑๐ คะแนน)

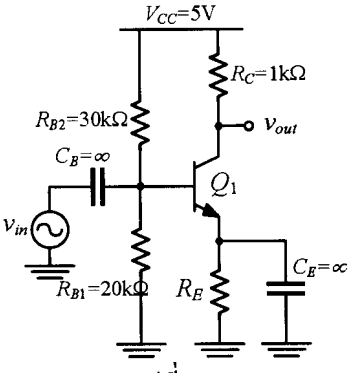
**5.**

(ก) จากวงจรขยายในรูปที่ 1.5 ให้ออกแบบค่าตัวต้านทาน $R_E$ ที่เหมาะสมเพื่อทำให้การแกว่งของสัญญาณแรงดันที่เอาท์พุทเมื่อเกิดการ clipping ต้องเกิดทั้งตอนแกว่งขึ้นและแกว่งลงพร้อมกัน (การออกแบบดังกล่าวจะทำให้ได้การแกว่งของสัญญาณแรงดันเอาท์พุทใหญ่ที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ก่อนที่จะเกิดความเพี้ยนขึ้น)

(ข) จากการออกแบบ $R_E$ ในข้อ (ก) ถ้านำตัวเก็บประจุ $C_E$ ออกจากวงจร บอกได้หรือไม่ว่าจะเกิดการ clipping ในช่วงที่แกว่งขึ้นหรือแกว่งลงก่อนกันหรือว่าเกิดพร้อมกันเช่นเดิม และจงคำนวณหาค่าแอมปลิจูดที่เล็กที่สุดของสัญญาณอินพุทที่จะทำให้เกิดการ clipping ในกรณีที่ไม่มี $C_E$ นี้

กำหนดให้ $V_{BEon} \cong 0.7\text{V}$, $V_{CEsat} = 0.2\text{V}$ และการคำนวณการแกว่งของสัญญาณให้ประมาณได้ว่าทรานซิสเตอร์ไบโพล่าร์เป็นเชิงเส้นและสมมุติให้สามารถละเลยกระแสเบสได้

(๑๔ คะแนน)




**รูปที่ 1.5**