มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

การสอบกลางภาค ประจำภาคการศึกษาที่ 1 **ประจำปีการศึกษา 2556**

วันที่ 1 สิงหาคม 2556 **เวลา 09.00-12.00น.**

วิชา 212-331, 210-232 วงจรและระบบอิเล็กทรอนิกส์ Electronic Circuits and Systems **ห้อง S203, A401**

คำสั่ง

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

กำหนดให้

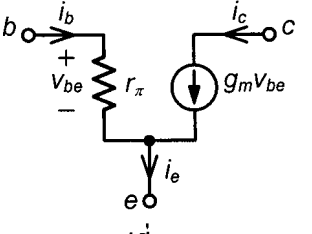
- แรงดันเทอร์มัลมีค่า $V_T = 26\text{mV}$ ที่อุณหภูมิห้อง 27°C
- เมื่อทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่าร์ (BJT) ทำงานในย่าน forward active แรงดัน V_{BEON} จะมีค่า 0.7 โวลต์
- สมการความสัมพันธ์ของทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่าร์ (BJT) สำหรับสัญญาณขนาดใหญ่คือ

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

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)

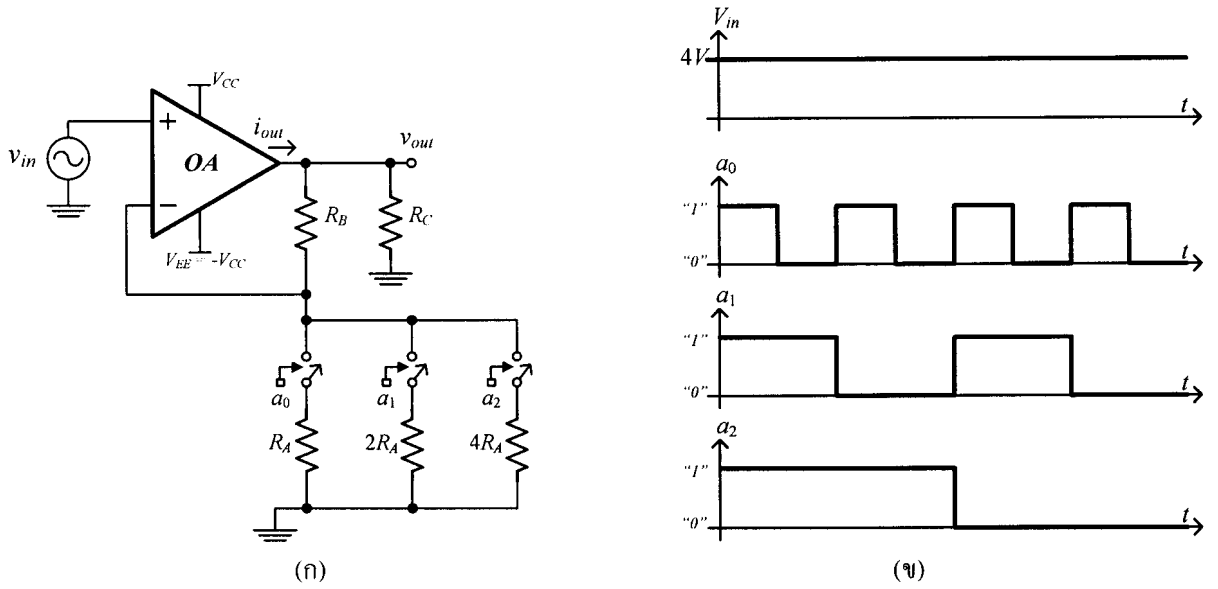


รูปที่ 1.1

ผู้ออกข้อสอบ: นาย ภาณุมาส คำสัตย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

1. จากวงจรในรูปที่ 1.2(ก) ซึ่งประกอบด้วยสวิทช์สามตัวที่ควบคุมด้วยสัญญาณดิจิตอล a_2, a_1, a_0 โดยเมื่อลอจิกเป็น "1" สวิทช์จะปิด ถ้าลอจิกเป็น "0" สวิทช์จะเปิด โดยมี $R_A = R_B = R_C = 10\text{k}\Omega$ ให้ทำการวิเคราะห์เพื่อวาดสัญญาณแรงดันเอาท์พุท v_{out} และ i_{out} (กระแสที่ไหล*ออกจาก*ออปแอมป์อุดมคติ) ในโดเมนเวลา เมื่อมีสัญญาณต่างๆดังรูปที่ 1.2(ข)

(10 คะแนน)



(ก) (ข)

รูปที่ 1.2

2. ให้ทำการออกแบบวงจร Digital-to-Analog converter (DAC) **2 วงจร**ที่มีลักษณะแตกต่างกัน (วงจรที่มีโครงสร้างเดียวกันแต่ใช้ค่าอุปกรณ์ต่างกันไม่ถือว่าเป็นวงจรที่ต่างกัน) ซึ่งมีหน้าที่แปลงสัญญาณดิจิตอล 3 บิต $b_2b_1b_0$ เพื่อให้ได้แรงดันอะนาลอกซึ่งเป็นไปตามสมการ

$$V_{out} = K\left(\frac{b_0}{16} + \frac{b_1}{4} + \frac{b_2}{1}\right)$$

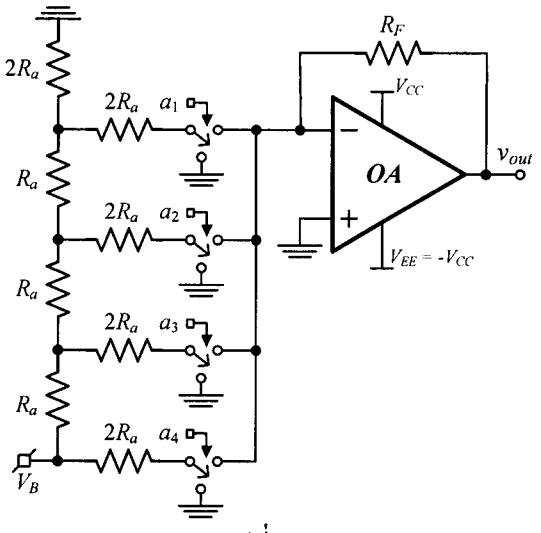
เมื่อ $K > 0$ และดิจิตอล b_2, b_1, b_0 มีค่าเป็น 1 หรือ 0 โดยในการออกแบบนี้ให้**ใช้วงจรที่อยู่บนพื้นฐานของโครงสร้างแบบ *R*-2*R* ladder** (คือใช้ค่าตัวต้านทานสองค่าต่อแบบขั้นบันได) ในการออกแบบในแต่ละวงจรให้ นศ.ใช้อุปกรณ์ต่อไปนี้เท่านั้น

- ออปแอมป์อุดมคติ 1 ตัว
- แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงคู่ค่าใดๆ 1 คู่ เช่น V_{CC} และ $V_{EE} = -V_{CC}$
- สวิทช์เลือกสองทางอุดมคติที่สามารถเลือกต่อระหว่างจุดสองจุดขึ้นอยู่กับดิจิตอลบิต b_2, b_1, b_0 ที่มาควบคุมจำนวน 3 ตัว
- ตัวต้านค่าใดๆทั้งหมด 2 ค่าเท่านั้น จำนวนเท่าใดก็ได้

จากวงจรที่ได้ทำการออกแบบให้หาค่า K ของทั้ง 2 วงจรที่นำเสนอ จากค่า parameters ต่างๆที่ใช้ในการออกแบบ

แนวทาง: ตัวอย่างวงจร DAC แบบ *R*-2*R* ladder แสดงในรูปที่ 1.3 สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบได้

(15 คะแนน)



รูปที่ 1.3

3. จากวงจรในรูปที่ 1.4 สมมุติให้ ออปแอมป์ทุกตัวเป็นอุดมคติ และการป้อนกลับลบทำงานได้เป็นปกติ

(ก) ถ้าสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณโหมดร่วมขนาดเล็กมาก $v_{in1} = v_{in2} = v_{cm}$ ให้คำนวณหาสัญญาณแรงดันเอซีที่จุด X และ Y โดยให้คำตอบในเทอมของ R_C, R_D, R_P, R_Q ตามความเหมาะสม

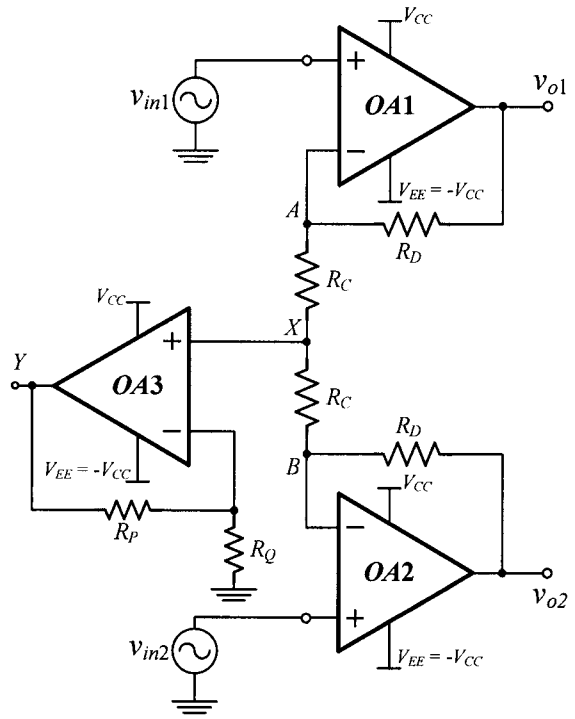
(ข) ถ้าสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณโหมดต่างขนาดเล็กมาก $v_{in1} = -v_{in2} = v_{dm}$ ให้คำนวณหาสัญญาณแรงดันเอซีที่จุด X และ Y โดยให้คำตอบในเทอมของ R_C, R_D, R_P, R_Q ตามความเหมาะสม

(ค) ให้ทำการออกแบบปรับปรุงวงจรนี้โดยเพิ่มตัวต้านทานค่าใดๆ 2 ตัวต่อลงไปในตำแหน่งที่เหมาะสม โดยห้ามเปลี่ยนโครงสร้างเดิมที่มีอยู่ เพื่อทำให้ common-mode gain (a_{cm}) = 0 และ differential-mode gain (a_{dm}) $\neq$ 0 (นั่นคือจะได้ CMRR = ∞) พร้อมทั้งยังคงค่าความต้านทานอินพุทของวงจรเป็นอนันต์สำหรับสัญญาณทั้งสองโหมด และต้องหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวต้านทานที่ใส่เพิ่มเข้าไปกับค่าตัวต้านทาน R_C, R_D, R_P, R_Q มาด้วย เพื่อให้ได้ a_{cm} และ a_{dm} ตามต้องการ

(ง) จากการออกแบบในข้อ (ค) ให้พิจารณาเฉพาะสัญญาณที่มีขนาดเล็กมากเพื่อหาค่า differential-mode gain โดยให้คำตอบในเทอมของ R_C, R_D, R_P, R_Q ตามความเหมาะสม

หมายเหตุ: โดยที่ common-mode gain และ differential-mode gain นั้นพิจารณาอินพุทที่ v_{in1}, v_{in2} และเอาท์พุทที่ v_{o1}, v_{o2}

(15 คะแนน)



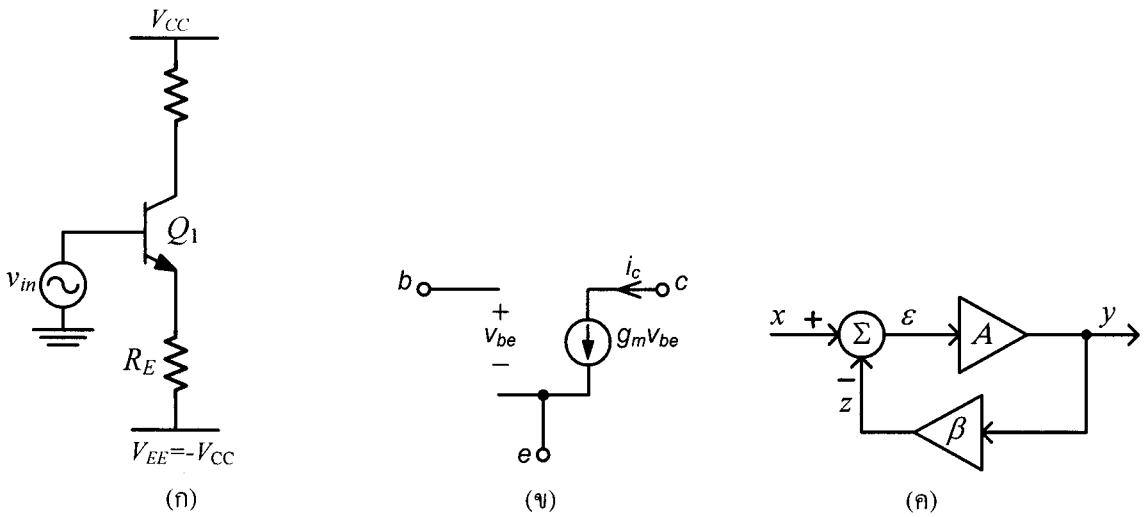
รูปที่ 1.4

4. จากวงจรขยายในรูปที่ 1.5(ก) สมมุติให้สัญญาณแรงดันอินพุท v_{in} มีขนาดเล็กมาก ทรานซิสเตอร์เอ็นพีเอ็นสามารถแทนได้ด้วยแหล่งจ่ายกระแส i_c ควบคุมด้วยแรงดัน v_{be} ในรูปที่ 1.5(ข) (โดย g_m คืออัตราการแปลงสัญญาณแรงดันเป็นสัญญาณกระแส) ให้เทียบเคียงการทำงานของวงจรนี้กับระบบป้อนกลับลบทั่วไปในรูปที่ 1.5(ค) เพื่อทำการวิเคราะห์สำหรับสัญญาณเอซีขนาดเล็กมากเพื่อเทียบเคียงหาว่า

(ก) สัญญาณเอซีใดในรูปที่ 1.5(ก) สามารถเทียบเคียงได้กับสัญญาณ x, y, z และ ε ในรูปที่ 1.5(ค)

(ข) อุปกรณ์ใดในรูปที่ 1.5(ก), (ข) สามารถเทียบเคียงได้กับ A, β และการลบสัญญาณ ในรูปที่ 1.5(ค)

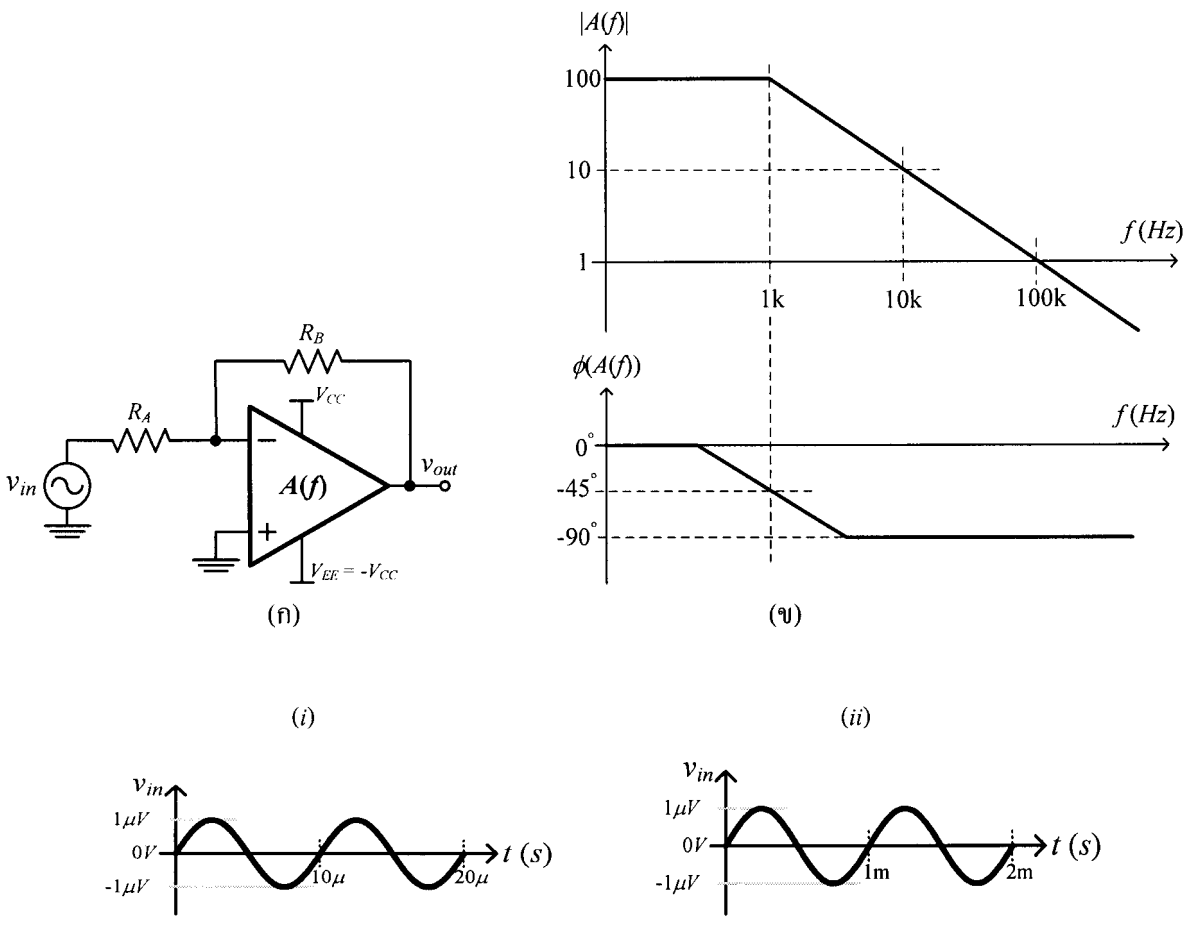
(8 คะแนน)



รูปที่ 1.5

5. จากวงจรในรูปที่ 1.6(ก) ประกอบกับ frequency response ของวงจรขยายแรงดันเชิงเส้นอุดมคติ $A(f)$ ดังแสดงในรูปที่ 1.6(ข) ให้วิเคราะห์เพื่อวาดสัญญาณ v_{out} สำหรับสัญญาณ v_{in} ทั้งสองกรณี (*i*) และ (*ii*) ดังแสดงในรูปที่ 1.6(ค) เมื่อ $R_A = R_B = 10\text{k}\Omega$

(12 คะแนน)



รูปที่ 1.6