มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

การสอบปลายภาค ประจำภาคการศึกษาที่ 1 **ประจำปีการศึกษา 2555**

วันที่ 10 ตุลาคม 2555 **เวลา 09.00-12.00น.**

วิชา 210-232 วงจรและระบบอิเล็กทรอนิกส์ Electronic Circuits and Systems **ห้อง S203**

คำสั่ง

1. ข้อสอบชุดนี้มีทั้งหมด 5 ข้อ (6 หน้า) ควรตรวจสอบก่อนลงมือทำ
2. อนุญาตให้นำเฉพาะเครื่องเขียนและเครื่องคิดเลขเข้าห้องสอบ
3. อนุญาตให้ใช้ดินสอหรือปากกาก็ได้ในการเขียนคำตอบและให้เขียนคำตอบในสมุดคำตอบเท่านั้นจึงจะได้รับการตรวจ
4. ถ้านักศึกษาเขียนในสิ่งที่ผิดหลักการอย่างร้ายแรงจะได้รับคะแนนติดลบ
5. ไม่มีคะแนนสำหรับคำตอบที่ไม่มีการวิเคราะห์และคำอธิบายที่มีเหตุผลถูกต้อง

กำหนดให้

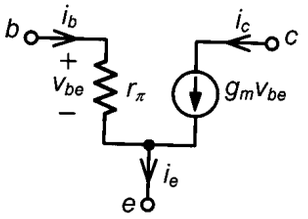
- แรงดันเทอร์มัลมีค่า $V_T = 26\text{mV}$ ที่อุณหภูมิห้อง 27°C
- สมมติให้เมื่อทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่าร์ (BJT) ทำงาน แรงดัน V_{BE} จะมีค่าประมาณ 0.7 โวลต์
- สมการความสัมพันธ์ของทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่าร์ (BJT) สำหรับสัญญาณขนาดใหญ่คือ

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

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

1. จากวงจรในรูปที่ 1.2 ให้ใช้สมการความสัมพันธ์ของทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่าร์ (BJT) สำหรับสัญญาณขนาดใหญ่คือ

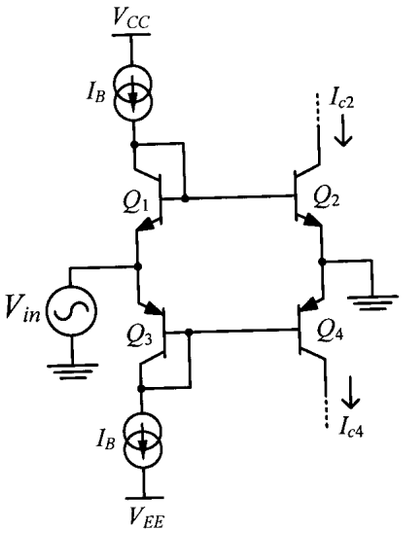
$$I_c = I_S \exp\left(\frac{V_{be}}{V_T}\right) \tag{1.3}$$

สำหรับ NPN และ

$$I_c = I_S \exp\left(\frac{V_{eb}}{V_T}\right) \tag{1.4}$$

สำหรับ PNP เพื่อทำการวิเคราะห์สำหรับสัญญาณขนาดใหญ่ (large-signal analysis) โดยพิสูจน์ว่าสมการความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณ ($I_{c2} - I_{c4}$) กับสัญญาณ V_{in} เป็นฟังก์ชัน sinh(·) โดยที่สมการดังกล่าวอาจจะต้องประกอบด้วยค่าคงที่ต่างๆเช่น I_B, I_S, V_T, V_{CC} ตามความเหมาะสม และ $\sinh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{2}$

(8 คะแนน)

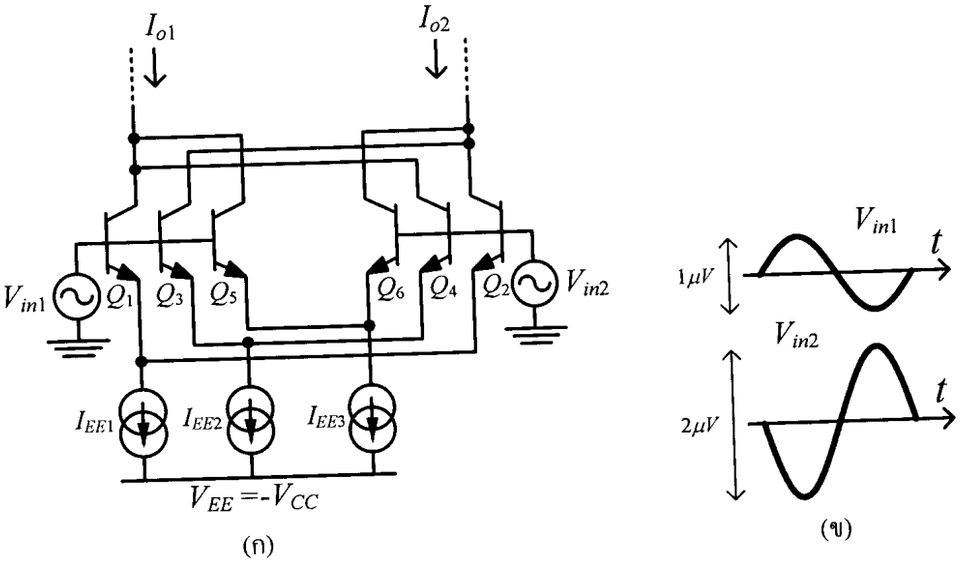


รูปที่ 1.2

2. (ก) วงจรในรูปที่ 1.3(ก) ซึ่งประกอบด้วย differential long-tail pair 3 คู่ ให้ทำการวิเคราะห์สำหรับสัญญาณขนาดใหญ่ (large-signal analysis) เพื่อพิสูจน์ว่าสมการความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณ $(I_{o1}-I_{o2})$ กับสัญญาณ $(V_{in1}-V_{in2})$ เป็นฟังก์ชัน tanh(·) โดยที่สมการดังกล่าวอาจจะต้องประกอบด้วยค่าคงที่ต่างๆเช่น I_{EE1}, I_{EE2}, I_{EE3}, I_S, V_T, V_{CC} ตามความเหมาะสม เมื่อ $\tanh(x)=\dfrac{e^x-e^{-x}}{e^x+e^x}$

(ข) ถ้า I_{EE1} = 2mA, I_{EE2} = 3mA, I_{EE3} = 4mA และสัญญาณแรงดันอินพุทมีขนาดเล็กมากดังแสดงในรูปที่ 1.3(ข) ให้ทำการวิเคราะห์เพื่อวาดสัญญาณ $I_{o1}-I_{o2}$ (สามารถใช้ small-signal approximation ได้)

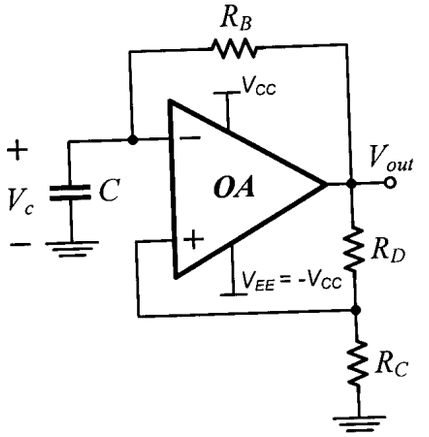
(10 คะแนน)



(ก) (ข)

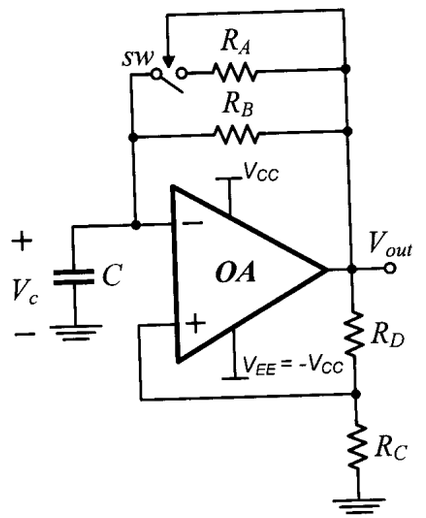
รูปที่ 1.3

3. (ก) วงจรในรูปที่ 1.4 เป็นวงจร Schmitt-trigger waveform generator สมมุติว่าก่อนที่จะจ่ายไฟเลี้ยงให้ออปแอมป์ตัวเก็บประจุมีแรงดันสะสมเริ่มต้นที่ 10 V ให้อธิบายการทำงานพร้อมทั้งวาดสัญญาณ V_c, V_{out} ตั้งแต่เวลาที่ปล่อยไฟเลี้ยงให้ออปแอมป์จนกระทั่งเข้าสู่สภาวะคงตัว โดยกำหนดให้ $V_{CC} = -V_{EE} = 5$ V และ $R_B = R_C = R_D$ (การวาดสัญญาณไม่เน้นความแม่นยำ แต่สัญญาณที่แสดงต้องมีแนวโน้มที่ถูกต้องตามหลักการ)



รูปที่ 1.4

(ข) วงจรในรูปที่ 1.4 ถูกทำการดัดแปลงเป็นวงจรใหม่ดังแสดงในรูปที่ 1.5 โดยทำการเพิ่มสองอุปกรณ์คือ (*i*) ตัวต้านทาน R_A ซึ่งมีค่าเท่ากับ R_B และ (*ii*) สวิทช์ *sw* ซึ่งจะปิดเมื่อสัญญาณแรงดันที่มาควบคุมสวิทช์มีค่าสูง ให้อธิบายการทำงานพร้อมวาดสัญญาณ V_c, V_{out}ตั้งแต่เวลาที่ปล่อยไฟเลี้ยงให้ออปแอมป์จนกระทั่งเข้าสู่สภาวะคงตัว สมมุติว่าก่อนที่จะจ่ายไฟเลี้ยงให้ออปแอมป์ตัวเก็บประจุมีแรงดันสะสมเริ่มต้นที่ 10 V



รูปที่ 1.5

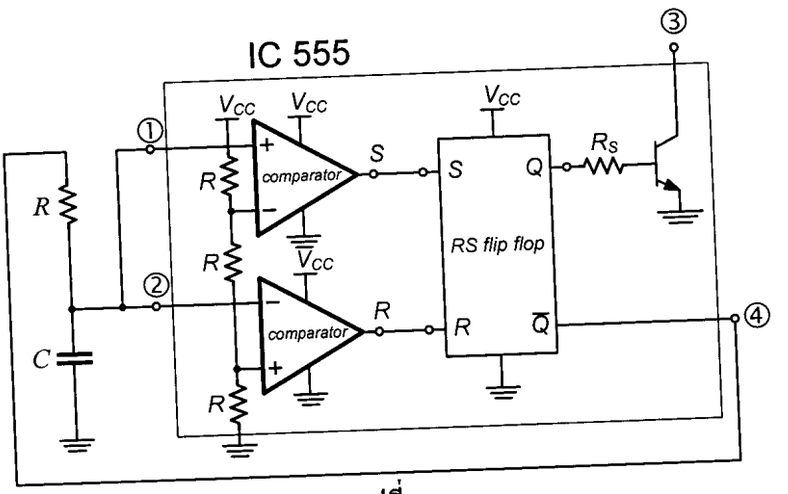
(8 คะแนน)

4. จากวงจรในรูปที่ 1.6 ประกอบด้วยไอซี 555 ตัวต้านทาน R และตัวเก็บประจุ C เพื่อกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยม โดยมี V_{CC} = 12V และมีตารางความจริงของ SR flip-flop เป็นดังแสดงในตารางที่ 1.1

(ก) ให้อธิบายว่าวงจรดังกล่าวสามารถกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมได้ตามต้องการหรือไม่ ถ้าวงจรดังกล่าวไม่สามารถทำงานได้ให้แก้ไขการต่อวงจรเฉพาะภายในไอซี 555 เท่านั้นโดยไม่ต้องเพิ่มอุปกรณ์ใดๆเพื่อทำให้กำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมได้ โดยสมมุติว่าเมื่อค่า Q มีตรรกะเป็น "1" หมายถึงแรงดันที่ Q เท่ากับ V_{CC} และเมื่อมีตรรกะเป็น "0" แรงดันที่ Q เท่ากับ 0 โวลต์ และ flop-flip สามารถขับ/รับกระแสได้ไม่จำกัด

(ข) จากการแก้ไขวงจรในข้อ (ก) (ถ้ามีความจำเป็นต้องแก้ไข) ให้อธิบายการทำงานพร้อมวาดสัญญาณแรงดันที่ตำแหน่ง ② และ ④ ตั้งแต่เวลาที่เริ่มจ่ายไฟเลี้ยงจนเข้าสู่สภาวะคงตัว โดยสมมุติให้แรงดันเริ่มต้นของตัวเก็บประจุก่อนจ่ายไฟเลี้ยงคือ 15 โวลต์

(10 คะแนน)



รูปที่ 1.6

ตารางที่ 1.1

S	***R***	***Q***
0	0	ไม่นิยาม
0	1	0
1	0	1
1	1	Q^- (ค่าเดิม)

5. จงออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณเพื่อให้ได้ลักษณะสัญญาณดังแสดงในรูปที่ 1.7 ซึ่งมีลักษณะคล้ายสัญญาณฟันเลื่อย (sawtooth) แต่การเพิ่มของแรงดันมีความสัมพันธ์กับฟังก์ชันเอกโปเนนเชียล ตามสมการในรูปแบบของ

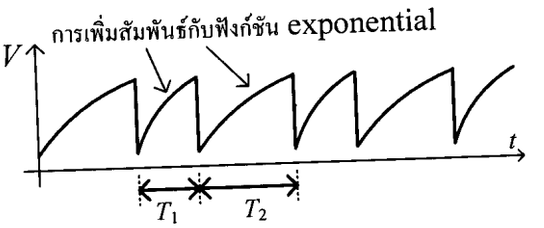
$$V(t) = (A - B)\exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) + B + C \tag{1.5}$$

โดยที่ τ, A, B, C คือค่าคงที่ใดๆ และค่าเฉลี่ยของสัญญาณแรงดันที่ต้องการอาจจะเป็นลบหรือบวกก็ได้ กำหนดให้ใช้อุปกรณ์ต่อไปนี้เท่านั้น

- เอ็นพีเอ็นทรานซิสเตอร์ 2 ตัว
- ออปแอมป์อุดมคติ 1 ตัว
- ตัวต้านทานค่าใดๆ 8 ตัว
- ตัวเก็บประจุค่าใดๆ 2 ตัว
- ไฟเลี้ยงดีซี 1 ชุด

ให้เหตุผลในการออกแบบพร้อมคำอธิบาย (การนำเสนอรูปวงจรโดยไม่มีคำอธิบายจะไม่ได้คะแนน)

(8 คะแนน)



$T_1 < T_2$

รูปที่ 1.7