มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

การสอบปลายภาค ประจำภาคการศึกษาที่ 1 **ปีการศึกษา 2558**

วันที่ 19 ธันวาคม 2558 **เวลา 13.30-16.30น.**

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

คำสั่ง

1. ข้อสอบชุดนี้มีทั้งหมด 5 ข้อ (มี 11 หน้ารวมปก) ควรตรวจสอบก่อนลงมือทำ
2. อนุญาตให้นำเฉพาะเครื่องเขียนและเครื่องคิดเลขเข้าห้องสอบ
3. อนุญาตให้ใช้ดินสอหรือปากกาก็ได้ในการเขียนคำตอบและให้เขียนคำตอบในตัวข้อสอบนี้เท่านั้น (ถ้าพื้นที่ไม่พอให้เขียนด้านหลังกระดาษได้)
4. ถ้านักศึกษาเขียนในสิ่งที่ผิดหลักการอย่างร้ายแรงจะได้รับคะแนนติดลบ
5. **ไม่มีคะแนนสำหรับคำตอบที่ไม่มีการวิเคราะห์หรือไม่มีคำอธิบายที่เป็นเหตุเป็นผล**

กำหนดให้

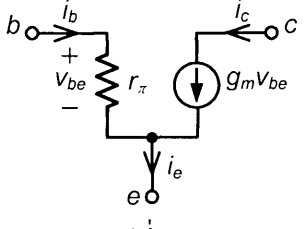
- แรงดันเทอร์มัลมีค่า $V_T = 26\text{mV}$ ที่อุณหภูมิห้อง 27°C
- เมื่อทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่าร์ (BJT) ทำงานในย่าน forward active แรงดัน V_{BEON} จะมีค่า 0.7 โวลต์
- สมการความสัมพันธ์ของทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่าร์ (BJT) สำหรับสัญญาณขนาดใหญ่คือ

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

โดยถ้ารวมผลของปรากฏการณ์เออรี่ด้วยสมการจะเปลี่ยนเป็น

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

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



รูปที่ 1.1

ผู้ออกข้อสอบ: นาย ภาณุมาส คำสัตย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

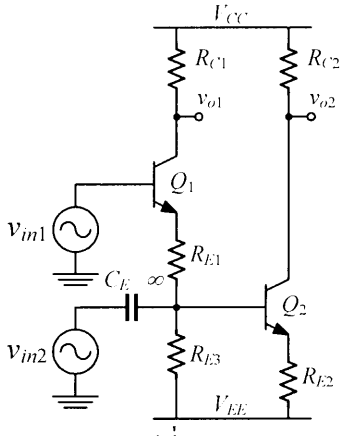
1. จากวงจรในรูปที่ 1.2 สมมุติว่า BJT มีกระแสเบสน้อยมากสามารถละเลยได้และไม่มีปรากฏการณ์เออรี่ ให้ประมาณการทำงานของทรานซิสเตอร์เป็นเชิงเส้น ให้คำนวณหา

(ก) หาแรงดันไบอัสที่ เบส อิมิตเตอร์ คอลเลคเตอร์ ของทรานส์ซิสเตอร์ Q_1, Q_2 โดยให้คำตอบในรูปของ R_{E1}, R_{E2}, R_{E3}, R_{C1}, R_{C2}, V_{CC}, V_{EE} ตามความเหมาะสม โดยสมมุติให้ทรานซิสเตอร์ Q_1, Q_2 มีการไบอัสอย่างเหมาะสมและทำงานในย่าน forward active

(ข) หาสัญญาณแรงดัน v_{o1}, v_{o2} ว่าขึ้นอยู่กับแรงดันอินพุท v_{in1}, v_{in2} (ซึ่งมีขนาดเล็กมาก) อย่างไร โดยให้คำตอบในรูปของ v_{in1}, v_{in2}, R_{E1}, R_{E2}, R_{E3}, R_{C1}, R_{C2}, V_{CC}, V_{EE} ตามความเหมาะสม โดยสมมุติให้ทรานซิสเตอร์ Q_1, Q_2 มีการไบอัสอย่างเหมาะสมและทำงานในย่าน forward active และ $g_m R_E >> 1$ สำหรับทั้ง Q_1 และ Q_2 (คือ loop gain >> 1)

(ค) ถ้าไม่มี C_E คั่นระหว่างแหล่งจ่ายสัญญาณ v_{in2} กับเบสของ Q_2 (คือ v_{in2} ต่อตรงเข้าไปที่เบสของ Q_2 เลย โดยโครงสร้างอื่นๆของวงจรยังเป็นเช่นเดิม) จะส่งผลอย่างไรต่อการไบอัสวงจร หาแรงดันไบอัสที่ เบส อิมิตเตอร์ คอลเลคเตอร์ ของทรานส์ซิสเตอร์ Q_1, Q_2 โดยให้คำตอบในรูปของ R_{E1}, R_{E2}, R_{E3}, R_{C1}, R_{C2}, V_{CC}, V_{EE} ตามความเหมาะสม

(ง) จากเงื่อนไขและสภาวะในข้อ (ค) ให้หาสัญญาณแรงดัน v_{o1}, v_{o2} ว่าขึ้นอยู่กับแรงดันอินพุท v_{in1}, v_{in2} (ซึ่งมีขนาดเล็กมาก) อย่างไร โดยให้คำตอบในรูปของ v_{in1}, v_{in2}, R_{E1}, R_{E2}, R_{E3}, R_{C1}, R_{C2}, V_{CC}, V_{EE} ตามความเหมาะสม



รูปที่ 1.2

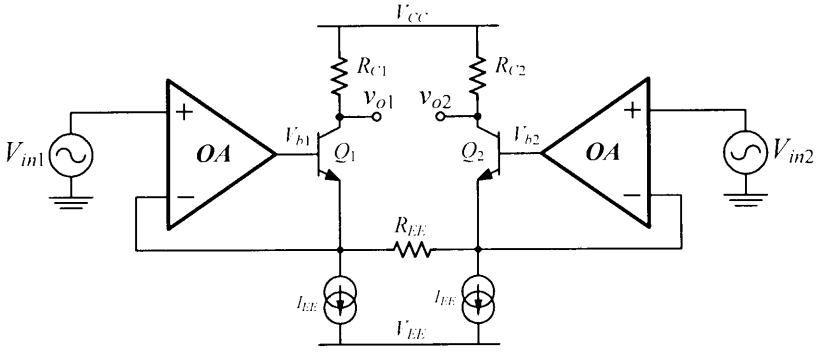
ตอบ .....

2. จากวงจรในรูปที่ 1.3 สมมุติว่าออปแอมป์เป็นอุดมคติ และสามารถละเลยกระแสเบสและปรากฏการณ์เออรี่ภายในทรานส์ซิสเตอร์ได้

(ก) ให้ทำการวิเคราะห์สำหรับสัญญาณขนาดใหญ่ (large-signal analysis) เพื่อหาสัญญาณ V_{b1}–V_{b2} ว่ามีความสัมพันธ์กับสัญญาณอินพุท V_{in1}, V_{in2} อย่างไร โดยให้คำตอบอยู่ในเทอมของ V_{in1}, V_{in2}, R_{EE}, R_{C1}, R_{C2}, V_{CC}, V_{EE}, V_T, I_{EE} ตามความเหมาะสม

(ข) ให้ทำการวิเคราะห์สำหรับสัญญาณขนาดเล็กมาก (small-signal analysis) เพื่อหาสัญญาณ v_{o1}–v_{o2} ว่ามีความสัมพันธ์สัญญาณอินพุท v_{in1}, v_{in2} อย่างไร โดยให้คำตอบอยู่ในเทอมของ v_{in1}, v_{in2}, R_{EE}, R_{C1}, R_{C2}, V_{CC}, V_{EE}, V_T, I_{EE} ตามความเหมาะสม

(ค) สมมุติว่าเราไม่มีแหล่งจ่ายกระแสอุดมคติ I_{EE} จึงใช้ตัวต้านทาน R_{XX} สองตัวทำการตั้งกระแสแทน I_{EE} ต่อจากอิมิตเตอร์ของ Q_1 และ Q_2 ลง V_{EE} ให้ทำการวิเคราะห์สำหรับสัญญาณขนาดเล็กมาก (small-signal analysis) เพื่อหาสัญญาณ v_{o1}–v_{o2} ว่ามีความสัมพันธ์สัญญาณอินพุท v_{in1}, v_{in2} อย่างไร โดยให้คำตอบอยู่ในเทอมของ v_{in1}, v_{in2}, R_{EE}, R_{C1}, R_{C2}, V_{CC}, V_{EE}, V_T, R_{XX} ตามความเหมาะสม



รูปที่ 1.3

ตอบ .....

3. จากวงจรในรูปที่ 1.4 สมมุติว่า BJT ทำหน้าที่เป็นสวิทช์ ในวงจรกำเนิดสัญญาณซึ่งมีการออกแบบตามวงจรที่ใช้ 555 timer แต่ว่า ไม่มี *SR* flip flop จึงต้องใช้ *XY* flip flop แทน โดยที่ *XY* flip flop มีตารางความจริงดังแสดงในตารางที่ 1

(ก) ให้พิจารณาว่าวงจรนี้สามารถกำเนิดสัญญาณเช่นเดียวกันที่ใช้ *SR* flip flop ได้หรือไม่ เพราะอะไร ให้เหตุผลอธิบายประกอบ

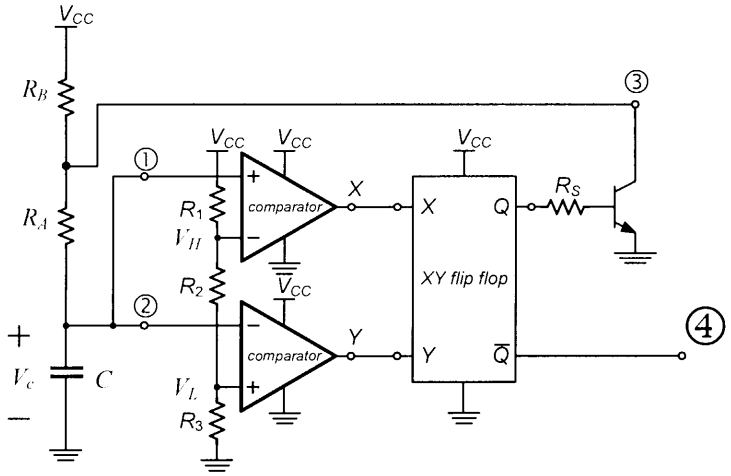
(ข) ถ้าวงจรดังกล่าวไม่สามารถทำงานได้ด้วย *XY* flip flop นี้ ให้นศ.ทำการแก้ไขวงจรเพื่อทำให้สามารถกำเนิดสัญญาณได้ โดยใส่อุปกรณ์ต่อไปนี้เพิ่มเข้าไปในวงจรได้ คือ

+ ออปแอม์อุดมคติ 1 ตัว และ + ตัวต้านทานค่าใดๆ 2 ตัว

โดยจะต้องแสดงการต่ออุปกรณ์ดังกล่าวเข้าไปในวงจรตามความเหมาะสมด้วย อธิบายประกอบด้วย

หมายเหตุ: ห้ามไม่ให้มีการปรับเปลี่ยนการต่อวงจรที่จุด ①, ②, ③ ส่วนจุดอื่นๆ (เช่น จุด *X*, *Y*, *Q*, ④) ปรับได้ตามความจำเป็นพร้อมกับอุปกรณ์ที่เพิ่มเข้าไป

(ค) จากวงจรที่ออกแบบในข้อ (ข) ที่กำเนิดสัญญาณได้แล้ว ให้วาดสัญญาณใน steady state เทียบกับเวลา ที่จุด ①, ③ รวมถึงที่ อินพุททั้งสองและเอาท์พุท (*Q*) ของ *XY* flip flop



รูปที่ 1.4

ตารางที่ 1

X	*Y*	*Q*
0	0	0
0	1	*Q* (ไม่เปลี่ยนแปลง)
1	0	(ไม่นิยาม)
1	1	1

ตอบ .....

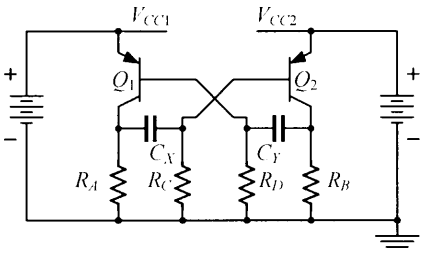
4. จากวงจรในรูปที่ 1.5 สมมุติว่าให้วงจรทั้งสองนี้สามารถทำงานกำเนิดสัญญาณในรูปแบบของ astable multivibrator ได้ โดยมี

$V_{CC1} = 5\text{V}$, $V_{CC2} = 10\text{V}$, $R_A (= R_B) << R_C (= R_D)$, $C_X = C_Y$

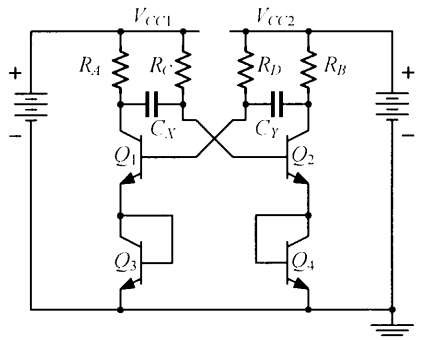
$|V_{BEon}| = 0.7\text{V}$, $|V_{CEsat}| = 0.2\text{V}$ (สำหรับทั้ง NPN และ PNP)

(ก) ในรูปที่ 1.5(ก) ให้วาดสัญญาณแรงดัน (เทียบกับเวลา) ในสภาวะคงตัว (steady state) ที่ขา เบส คอลเลคเตอร์ ของทรานส์ซิสเตอร์ PNP ทั้ง 2 ตัว เมื่อวงจรทำการกำเนิดสัญญาณได้

(ข) ในรูปที่ 1.5(ข) ให้วาดสัญญาณแรงดัน (เทียบกับเวลา) ในสภาวะคงตัว (steady state) ที่ขา เบส อิมิตเตอร์ คอลเลคเตอร์ ของทรานส์ซิสเตอร์NPN ทั้ง 4 ตัว เมื่อวงจรทำการกำเนิดสัญญาณได้



(ก)



(ข)

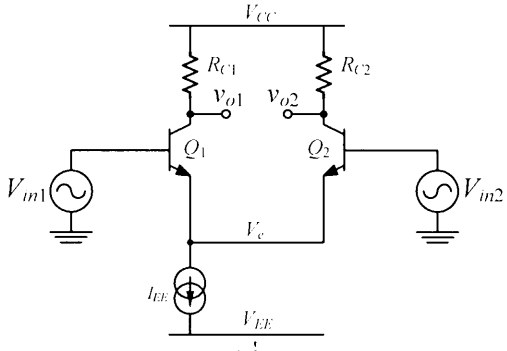
รูปที่ 1.5

ตอบ .....

5. จากวงจรในรูปที่ 1.6 สมมุติว่าสามารถละเลยกระแสเบสและปรากฏการณ์เออรี่ภายในทรานส์ซิสเตอร์ได้

(ก) ให้ทำการวิเคราะห์สำหรับสัญญาณขนาดใหญ่ (large-signal analysis) เพื่อหาสัญญาณ V_c ว่ามีความสัมพันธ์กับสัญญาณอินพุท V_{in1}, V_{in2} อย่างไร โดยให้คำตอบอยู่ในเทอมของ V_{in1}, V_{in2}, V_{CC}, V_{EE}, V_T, I_{EE} ตามความเหมาะสม

(ข) ถ้าสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณที่มีขนาดเล็กมากคือเป็น v_{in1}, v_{in2} แทน V_{in1}, V_{in2} ให้ใช้ผลการวิเคราะห์ในข้อ (ก) เพื่อทำการประมาณแรงดันสัญญาณขนาดเล็กที่อิมิตเตอร์, v_e ว่าจะตรงตามกับที่ได้การวิเคราะห์ด้วย small-signal model หรือไม่ อย่างไร



รูปที่ 1.6

ตอบ .....