มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

การสอบปลายภาค ประจำภาคการศึกษาที่ 2 **ประจำปีการศึกษา 2555**

วันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2556 **เวลา 09.00-12.00น.**

วิชา 210-432 Advanced Electronics **ห้อง หัวหุ่นยนต์**

<u>คำสั่ง</u>

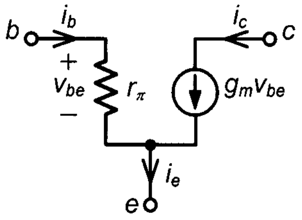
1. ข้อสอบชุดนี้มีทั้งหมด 6 ข้อ ควรตรวจสอบก่อนลงมือทำ
2. อนุญาตให้นำเฉพาะเครื่องเขียนและเครื่องคิดเลขเข้าห้องสอบ
3. อนุญาตให้ใช้ดินสอหรือปากกาก็ได้ในการเขียนคำตอบ
4. ให้เขียนคำตอบในสมุดคำตอบเท่านั้น
5. ไม่มีคะแนนสำหรับคำตอบหรือการออกแบบที่ไม่มีการวิเคราะห์หรือการอธิบายอย่างเป็นเหตุผล

กำหนดให้

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

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

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



รูปที่ 1.1

ชื่อ:____________________________________รหัสประจำตัว:______________________

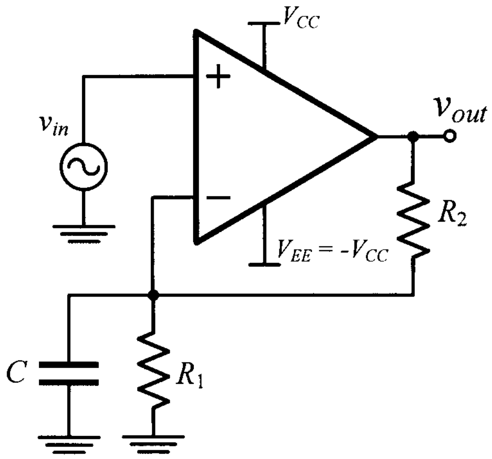
ผู้ออกข้อสอบ: นาย ภาณุมาส คำสัตย์

1. อธิบาย<u>พร้อมการวิเคราะห์ประกอบ</u>จากมุมมองของทฤษฎีควบคุม (Control theory) ว่าทำไมการใช้ lag-lead filter ควรจะส่งผลให้การทำงานของระบบ phase-locked loop ดีกว่าการใช้ a simple lowpass filter โดยการอธิบายให้ใช้สองแนวทางคือ (ก) ทางเดินของราก (root locus) และ (ข) ผลตอบสนองความถี่ (frequency response) ประกอบ

[6 คะแนน]

2. แ สดงการวิเคราะห์อย่างเป็นระบบเพื่อช่วยในการออกแบบออปแอมป์แบบสองขั้น (two-stage opamp) เพื่อนำไปใช้กับวงจรในรูปที่ 1.2 เพื่อทำให้วงจรนี้มีเสถียรภาพ (stable) วงจรออปแอมป์ที่ออกแบบนี้จะมีความแตกต่างกันหรือไม่อย่างไรระหว่างกรณีที่ไม่มีกับกรณีที่มีตัวเก็บประจุต่อขนานอยู่กับตัวต้านทาน R_1

(4 คะแนน)

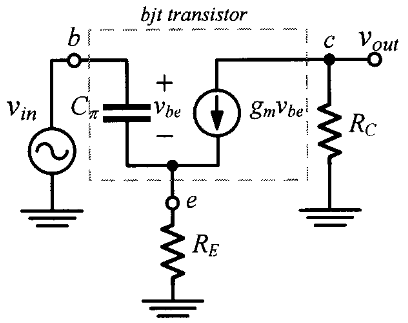


รูปที่ 1.2

3.

(ก) วงจรในรูปที่ 1.3 มีโพลหรือซีโร่หรือไม่และถ้ามีอยู่ที่ใดบ้าง [2 คะแนน]

(ข) ให้ออกแบบดัดแปลงวงจรในรูปที่ 1.3 เพื่อหาทางกำจัดโพลหรือซีโร่ที่ได้จากการวิเคราะห์ในข้อ (ก) คือทำให้ไม่มีโพลและซีโร่เหลืออยู่เลยและยังคงความสามารถในการขยายสัญญาณได้ (เป็นการขยายแบบช่วงความถี่กว้างแต่อัตราขยายไม่จำเป็นต้องเท่าเดิม) โดยอาจจะใช้อุปกรณ์คือ ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำ ค่าใดๆจำนวนเท่าใดก็ได้ (เราไม่สามารถเปลี่ยนแปลงสิ่งที่อยู่ภายในกล่องเส้นประได้) [5 คะแนน]



รูปที่ 1.3

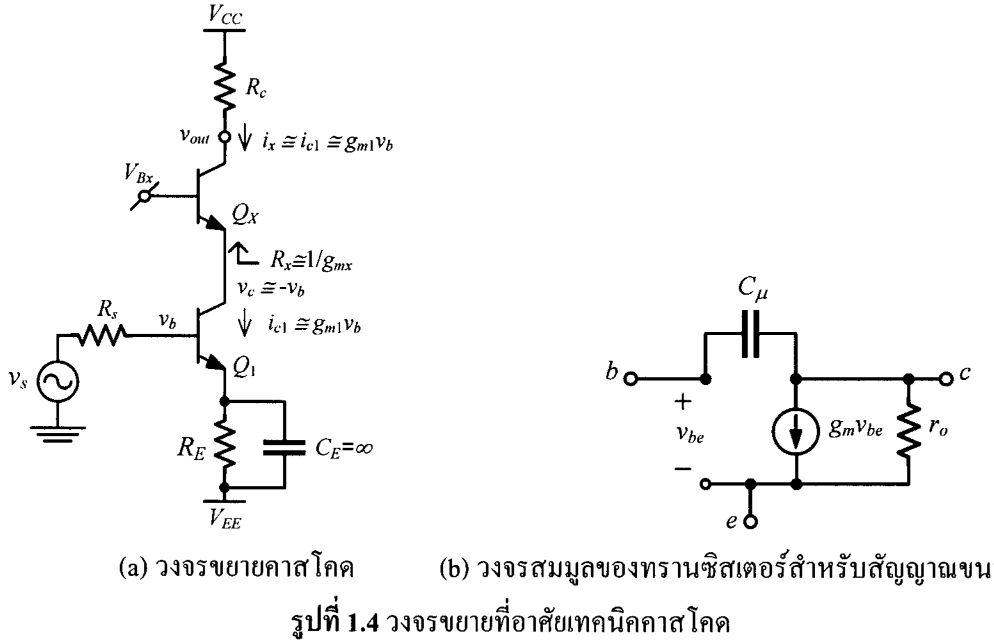
4. วงจรในรูปที่ 1.4(a) เป็นวงจรที่ใช้เทคนิคคาสโคดเพื่อลดผลของ C_μ ของทรานซิสเตอร์ที่จะทำให้แบนด์วิธตกลง

(ก) จำเป็นหรือไม่ที่จะต้องพิจารณาผลของ R_s เพราะอะไร เนื่องจาก R_s นั้นเสมือนว่าอยู่ในแหล่งจ่ายและเราก็ไม่มีทางวัดสัญญาณ v_s ภายในแหล่งจ่ายได้ ซึ่งถ้าไม่ได้คิดผล R_s ผลกระทบต่อแบนด์วิธจาก C_μ ก็จะน้อยลงทำให้ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้โครงสร้างคาสโคดให้วุ่นวาย [2 คะแนน]

(ข) หาวิธีตั้งแรงดันไบอัส V_{Bx} ของวงจรในรูปที่ 1.4(a) เพื่อให้แรงดันไบอัสที่คอลเลคเตอร์ของ Q_1 มีค่าอยู่ 0 โวลต์อย่างแม่นยำเมื่อต้องการให้กระแสไบอัสมีค่าเป็น 1 มิลลิแอมแปร์ โดยอาจจะใช้อุปกรณ์เพิ่มเติมคือ ทรานซิสเตอร์เอ็นพีเอ็น 2 ตัว (ชนิดเดียวกันกับที่ใช้ในวงจรขยาย) ตัวต้านทาน 1 ตัว [2 คะแนน]

(ค) เป็นที่ทราบกันดีว่าวงจรในรูปที่ 1.4(a) นี้จะมีอัตราขยายแรงดัน (voltage gain) ที่ต่ำกว่าวงขยายอิมิตเตอร์ร่วมแบบธรรมดาถ้าใช้ไฟเลี้ยงและการกินกำลังงานเท่ากันเพราะจะใช้ตัวต้านทาน R_c ที่มีค่าสูงไม่ได้เพราะมีส่วนในการตั้งแรงดันไบอัสที่เอาท์พุท ให้ดัดแปลงวงจรนี้เพื่อทำให้อัตราขยายแรงดันมีค่าใกล้เคียงกันกับของวงขยายอิมิตเตอร์ร่วมแบบธรรมดาโดยที่ใช้ไฟเลี้ยงและการกินกำลังงานเท่ากัน โดยอาจจะใช้อุปกรณ์เพิ่มเติมคือ แหล่งจ่ายกระแสอุดมคติค่าใดๆ 1 ตัว ทรานซิสเตอร์เอ็นพีเอ็น 2 ตัว ตัวต้านทานค่าใดๆ 2 ตัว (วงจรใหม่ที่ออกแบบนี้จะต้องมีการไบอัสแรงดันดีซีที่เอาท์พุทเพื่อให้เกิดการแกว่งของสัญญาณได้อย่างสมมาตรบน-ล่างคือเกิดการคลิปบนและล่างพร้อมกันเมื่อสัญญาณมีขนาดใหญ่ โดยไม่ต้องกังวลว่าจะต้องได้การแกว่งสัญญาณจากยอดถึงท้องสูงสุด ($V_{pp\max}$) มีขนาดเท่ากันกับของวงจรขยายอิมิตเตอร์ร่วมแบบธรรมดา) [3 คะแนน]

(ง) อย่างไรก็ตามจากการทำ Miller's approximation เราทราบว่าแบนด์วิธที่ถูกจำกัดโดย C_μ นั้นเสมือนว่ามีค่าตัวเก็บประจุต่อจากเบสลงกราวนด์มีค่าประมาณ $2C_\mu$ เนื่องจากอัตราขยายระหว่างเบสกับคอลเลคเตอร์ประมาณ -1 แต่ถ้าต้องการที่จะทำให้ผลของ C_μ ลดลงเหลือเท่าตัวคือให้เสมือนว่ามีค่าตัวเก็บประจุต่อจากเบสลงกราวนด์มีค่าประมาณเพียง C_μ เท่านั้น เราจะดัดแปลงวงจรในรูปที่ 1.4(a) อย่างไรเพื่อให้ได้ตามความต้องการนี้โดยอาจจะมีอุปกรณ์เพิ่มเติมคือ ออปแอมป์อุดมคติหนึ่งตัว ทรานซิสเตอร์เอ็นพีเอ็นหนึ่ง ตัวต้านทานค่าใดๆสองตัว ตัวเก็บประจุขนาดใหญ่สองตัว จะใช้อุปกรณ์เหล่านี้ทุกตัวหรือไม่ก็ได้ [5 คะแนน]



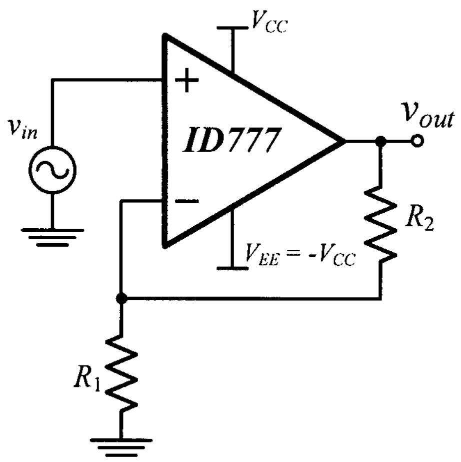
(a) วงจรขยายคาสโคด (b) วงจรสมมูลของทรานซิสเตอร์สำหรับสัญญาณขนาดเล็กมาก

รูปที่ 1.4 วงจรขยายที่อาศัยเทคนิคคาสโคด

5. วงจรออปแอมป์เบอร์ ID777 ที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการ ตาม datasheet นั้นแนะนำให้ใช้ไฟเลี้ยงคู่ได้ต่ำที่สุดคือ ±2.5โวลต์ (แรงดันไฟเลี้ยงคร่อมต่ำสุดคือ 5 โวลต์นั่นเอง) เราจะใช้ออปแอมป์ตัวนี้สำหรับการนำไปต่อเป็นวงจร non-inverting amplifier ดังแสดงในรูปที่ 1.5 ซึ่งมีอัตราขยายสัญญาณแรงดันเอซีเป็น $(1 + R_2/R_1)$ แต่มีความจำเป็นที่จะต้องหาทางดัดแปลงวงจรตามความเหมาะสมเพื่อที่จะใช้วงจรนี้กับไฟเลี้ยงเดี่ยวขนาด 3 โวลต์เท่านั้นและจะต้องทำให้แรงดันดีซีที่เอาท์พุทอยู่ที่ 1.5โวลต์และยังคงอัตราขยายสัญญาณแรงดันเช่นเดิมได้ โดยสามารถใช้อุปกรณ์เหล่านี้เพิ่มเติมได้คือ ตัวต้านทานค่าใดๆ ตัวเก็บประจุค่าใดๆ แหล่งจ่ายกระแสดีซีอุดมคติค่าใดๆ (แต่ละชนิดจำนวนชนิดละไม่เกิน 2 ตัว)

กำหนดให้: ออปแอมป์ ID777 นั้นเป็นออปแอปม์แบบ two-stage ซึ่งใช้ทรานซิสเตอร์ไบโพล่าร์แบบพีเอ็นพีเป็น differential pair ที่ภาคอินพุท ซึ่งถ้าแรงดันดีซีไบอัสที่อินพุทเป็น 1.5 โวลต์ จะมีค่าต่ำไม่พอที่จะทำให้ภาคอินพุททำงานได้ (ทรานซิสเตอร์พีเอ็นพีไม่ทำงาน) สมมติว่าละเลยกระแสที่ไหลเข้าสู่/ออกจากอินพุทของออปแอปม์ได้

[4 คะแนน]



รูปที่ 1.5

6. (ก) ให้ทำการออกแบบวงจรขยายปฏิบัติการแบบสองขั้น (two-stage) เพื่อให้สามารถใช้งานได้ด้วยไฟเลี้ยงคร่อม 3 โวลต์ (กำหนดให้แรงดันไบอัส V_{CE} ต้องมีค่าอย่างน้อย 0.7 โวลต์) โดยต้องใช้เทคนิคต่อไปนี้ในการออกแบบ

- ใช้วงจรขยายแบบคลาสเอบีเป็นภาคเอาท์พุท
- ใช้เทคนิคการชดเชยแบบมิลเลอร์ (Miller compensation) เพื่อแยกโพลหลักสองตัวออกจากกันเพื่อทำให้มีเฟสมาร์จินดีขึ้น
- ให้ทำการชดเชยซีโร่ที่เกิดจาก Miller compensation เพื่อทำให้เสถียรภาพของวงจรดีขึ้น

[5 คะแนน]

(ข) อธิบายว่าทำไมจึงต้องทำการชดเชยแบบมิลเลอร์และการชดเชยซีโร่ที่เกิดจาก Miller compensation

[2 คะแนน]

(ค) ให้ทำการวิเคราะห์โดยประมาณเพื่อออกแบบโดยใช้ซีโร่เพื่อที่จะหาทางกำจัดโพลหลักลำดับสอง (หลังจากการทำ Miller compensation แล้ว)

[3 คะแนน]

หมายเหตุ: อนุญาตให้ใช้ตัวต้านทานค่าใดๆ ทรานซิสเตอร์เอ็นพีเอ็น พีเอ็นพี ตัวเก็บประจุค่าใดๆ (แต่ละชนิดจำนวนเท่าใดก็ได้) แต่ไม่อนุญาตให้ใช้แหล่งจ่ายแรงดันและแหล่งจ่ายกระแสอุดมคติ (ยกเว้นไฟเลี้ยงเดี่ยวขนาด 3 โวลต์ซึ่งจะมีก็ต่อเมื่อนำไปใช้งานจริง)