มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์

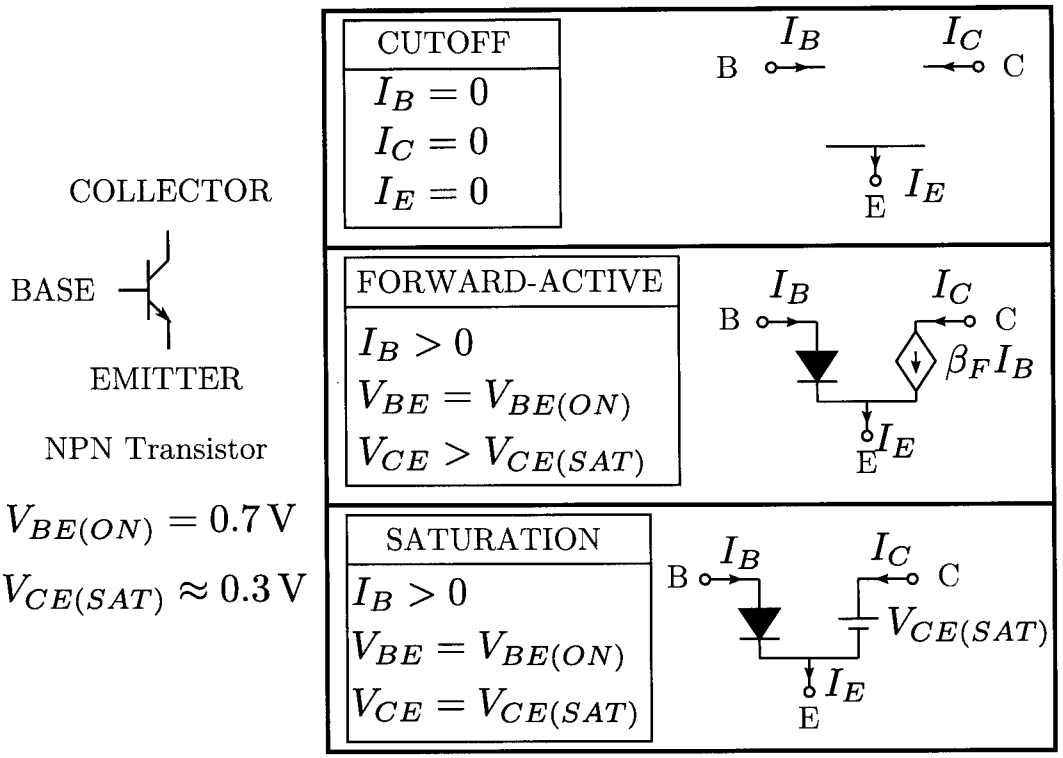
การสอบปลายภาค ประจำภาคการศึกษาที่ 1 ประจำปีการศึกษา 2555
วันอังคารที่ 9 ตุลาคม พ.ศ. 2555 เวลา 0900 -- 1200
วิชา 210-231/212-231: Principles of Electronics ห้อง Robot, R201, A400
ผู้ออกข้อสอบ: อ.วฤทธิ์ วิชกูล

ข้อปฏิบัติ

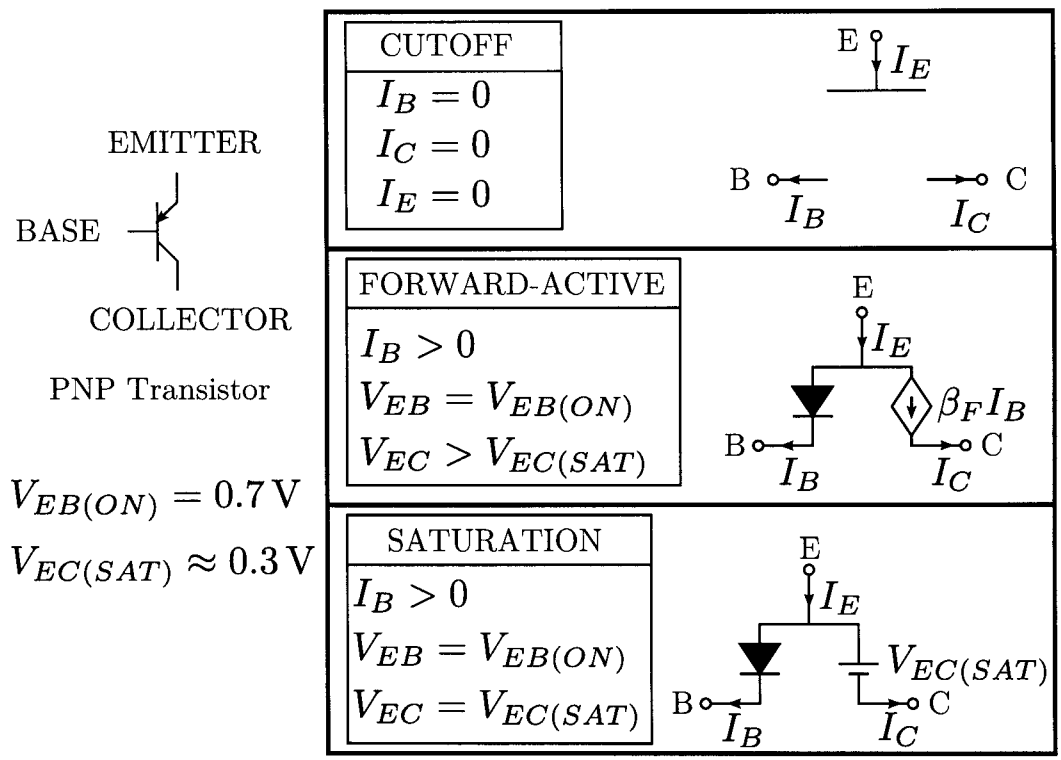
1. ข้อสอบมีทั้งหมด 6 ข้อ รวม 16 หน้า ทำทุกข้อ มีเวลา 3 ชั่วโมงในการทำข้อสอบ
2. **ไม่อนุญาต** ให้นำ note หรือ หนังสือเข้าห้องสอบ
3. อนุญาตให้นำเครื่องคิดเลขเข้าห้องสอบได้
4. อนุญาตให้ใช้ปากกาหรือดินสอเขียนคำตอบได้
5. เขียนแสดงวิธีทำและระบุหน่วยให้ชัดเจน สามารถเขียนด้านหลังกระดาษได้

ชื่อ-นามสกุล	รหัสนักศึกษา

ข้อที่	คะแนนเต็ม	คะแนนที่ได้	หมายเหตุ
1	10		
2	10		
3	15		
4	20		
5	20		
6	25		
คะแนนรวม	100		

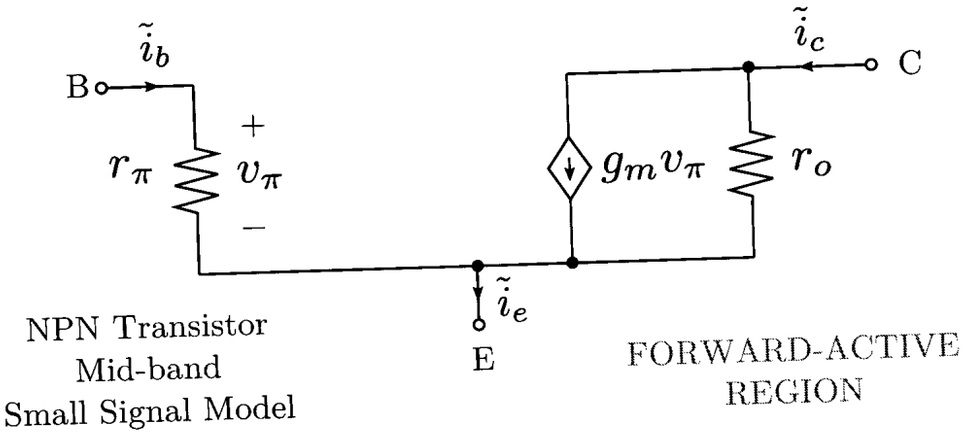


รูปที่ 1: NPN large signal model

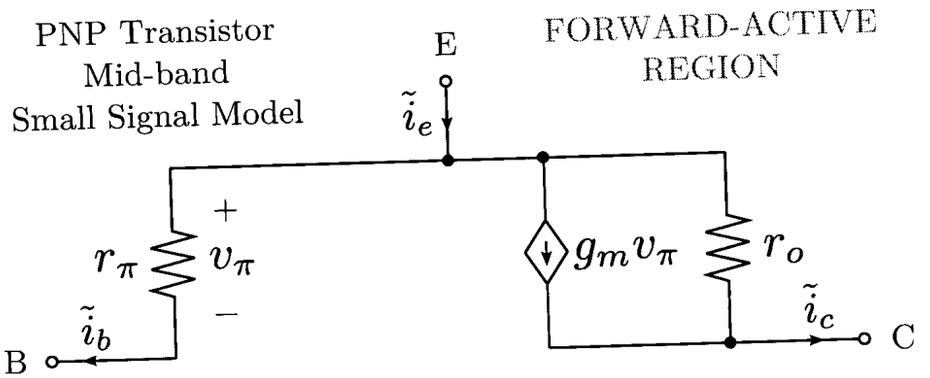


รูปที่ 2: PNP large signal model

$$i_C \cong I_S e^{(v_{BE}/V_T)}, \quad \text{for } v_{BE} > 0. \tag{1}$$



รูปที่ 3: NPN small signal model

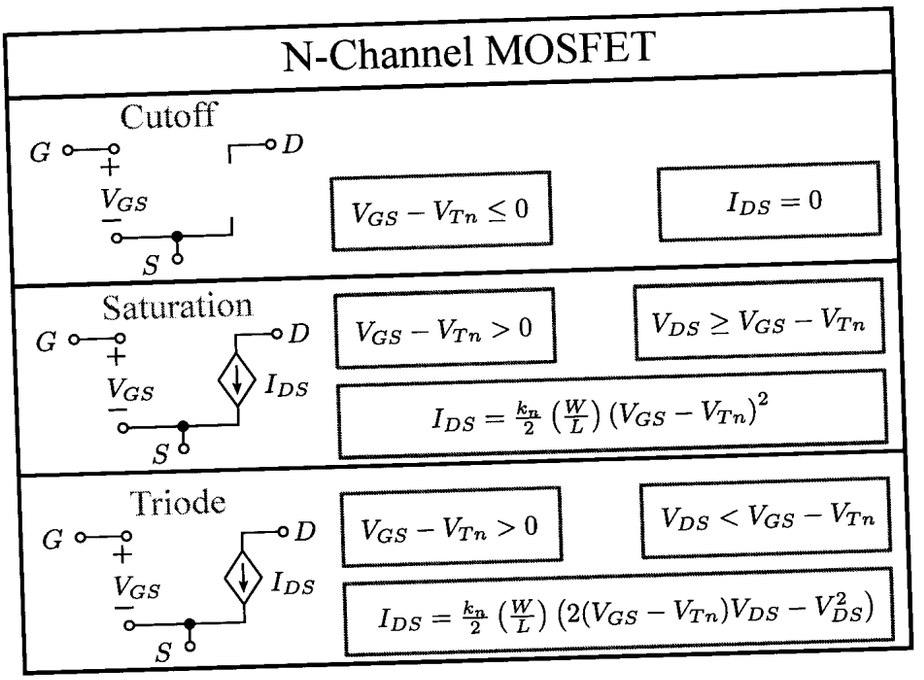


รูปที่ 4: PNP small signal model

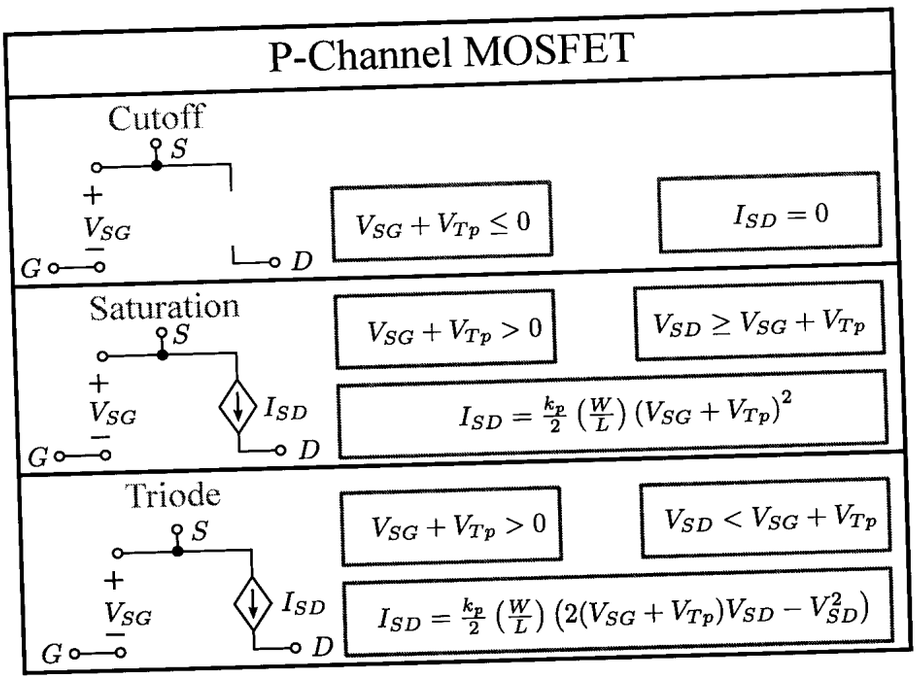
$$g_m \triangleq \frac{I_C}{V_T} \tag{2}$$

$$r_\pi \triangleq \frac{\beta_F}{g_m} \tag{3}$$

$$r_o \triangleq \frac{V_A}{I_C} \tag{4}$$

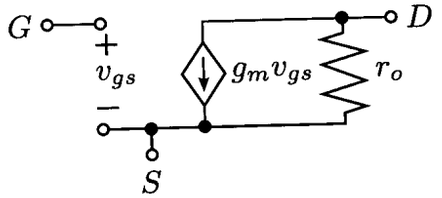


(a) n-channel MOSFET



(b) p-channel MOSFET

รูปที่ 5: MOSFET Large signal models



(a) n-channel small signal model

N-Channel MOSFET: Mid-band small signal model

$$i_{DS} = \frac{k_n}{2}\left(\frac{W}{L}\right)(v_{GS} - V_{Tn})^2$$

$$g_m = \left.\frac{di_{DS}}{dv_{GS}}\right|_{v_{GS}=V_{GS}}$$

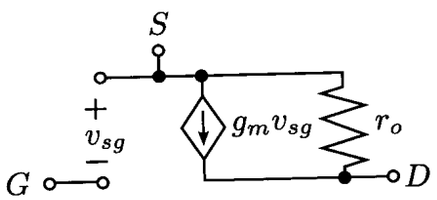
$$g_m = k_n\left(\frac{W}{L}\right)(V_{GS} - V_{Tn}) = \sqrt{2k_n\left(\frac{W}{L}\right)I_{DS}}$$

$$i_{DS} = \frac{k_n}{2}\left(\frac{W}{L}\right)(v_{GS} - V_{Tn})^2(1 + \lambda_n v_{DS})$$

$$r_o = \left(\left.\frac{di_{DS}}{dv_{DS}}\right|_{v_{DS}=V_{DS},v_{GS}=V_{GS}}\right)^{-1}$$

$$r_o = \frac{1}{\lambda_n \frac{k_n}{2}\left(\frac{W}{L}\right)(V_{GS} - V_{Tn})^2} \approx \frac{1}{\lambda_n I_{DS}}$$

(b) n-channel parameters



(c) p-channel small signal model

P-Channel MOSFET: Mid-band small signal model

$$i_{SD} = \frac{k_p}{2}\left(\frac{W}{L}\right)(v_{SG} + V_{Tp})^2$$

$$g_m = \left.\frac{di_{SD}}{dv_{SG}}\right|_{v_{SG}=V_{SG}}$$

$$g_m = k_p\left(\frac{W}{L}\right)(V_{SG} + V_{Tp}) = \sqrt{2k_p\left(\frac{W}{L}\right)I_{SD}}$$

$$i_{SD} = \frac{k_p}{2}\left(\frac{W}{L}\right)(v_{SG} + V_{Tp})^2(1 + \lambda_p v_{SD})$$

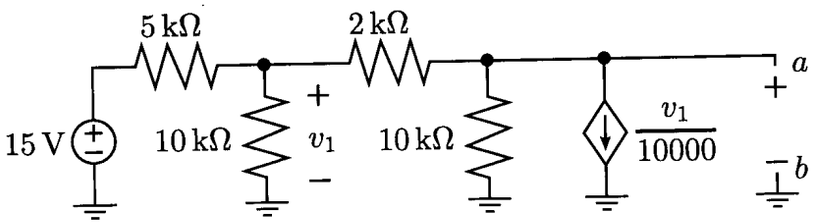
$$r_o = \left(\left.\frac{di_{SD}}{dv_{SD}}\right|_{v_{SD}=V_{SD},v_{SG}=V_{SG}}\right)^{-1}$$

$$r_o = \frac{1}{\lambda_p \frac{k_p}{2}\left(\frac{W}{L}\right)(V_{SG} + V_{Tp})^2} \approx \frac{1}{\lambda_p I_{SD}}$$

(d) p-channel parameters

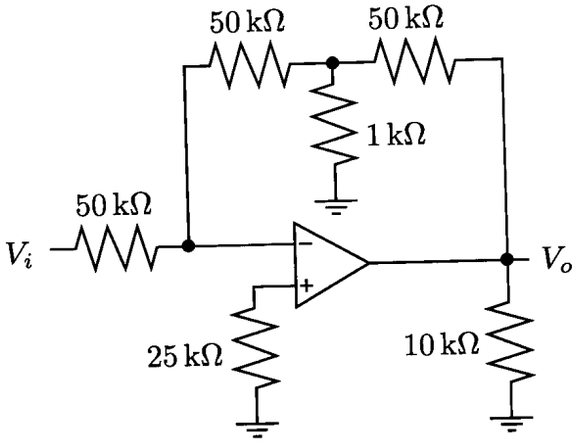
รูปที่ 6: MOSFET small signal models and parameters in the saturation region

Q-1) (10 คะแนน) จงวาดรูปวงจรสมมูลของ Norton ที่พอร์ต ab พร้อมทั้งระบุค่าในวงจรสมมูลให้ถูกต้อง ของวงจรในรูปที่ 7



รูปที่ 7: วงจรสำหรับ Q-1

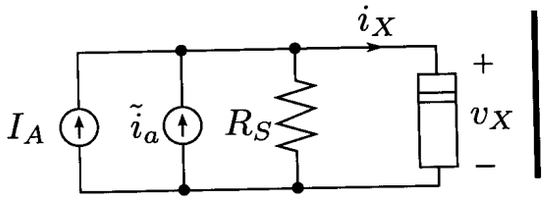
Q-2) (10 คะแนน) สมมุติให้ op-amp ที่ใช้ในวงจรเป็น op-amp ในอุดมคติ จงหาอัตราส่วน $\frac{V_o}{V_i}$ ของวงจรในรูปที่ 8



รูปที่ 8: วงจรสำหรับ Q-2

$\frac{V_o}{V_i} =$

Q-3) (15 คะแนน) จากวงจรในรูปที่ 9 กำหนดให้ $I_A = 5\,\text{mA}$, $R_S = 1\,\text{k}\Omega$ และอุปกรณ์ non-linear มีความสัมพันธ์ของ i-v ดังรูป



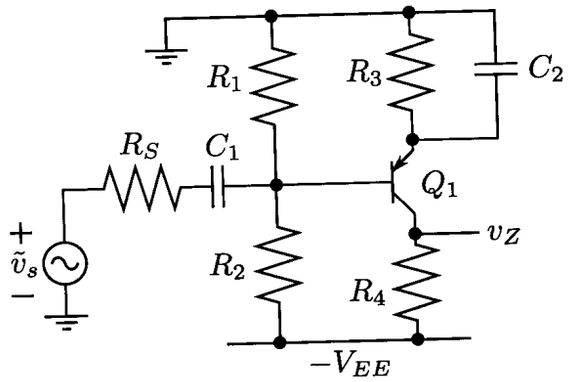
$$i_X = \begin{cases} 0.002\sqrt{(v_X - 1)} & ; v_X > 1 \\ 0.001(v_X - 1) & ; v_X \leq 1 \end{cases}$$

รูปที่ 9: วงจรสำหรับ Q-3

จงหา small signal current gain หรือ $\frac{\tilde{i}_x}{\tilde{i}_a}$

$\frac{\tilde{i}_x}{\tilde{i}_a} =$

Q-4) (20 คะแนน) จากวงจรในรูปที่ 10 กำหนดให้ $R_S = 500\,\Omega$, $R_1 = 20\,\text{k}\Omega$, $R_2 = 30\,\text{k}\Omega$, $R_3 = 50\,\Omega$, $R_4 = 2\,\text{k}\Omega$, $-V_{EE} = -5\,\text{V}$ C_1 และ C_2 มีค่าสูงมาก สำหรับ pnp BJT ให้ใช้ข้อมูลดังต่อไปนี้ $V_{EB(ON)} = 0.7\,\text{V}$, $V_{EC(SAT)} = 0.3\,\text{V}$, $V_T = 26\,\text{mV}$, $V_A = 100\,\text{V}$ และ $\beta_F = 20$

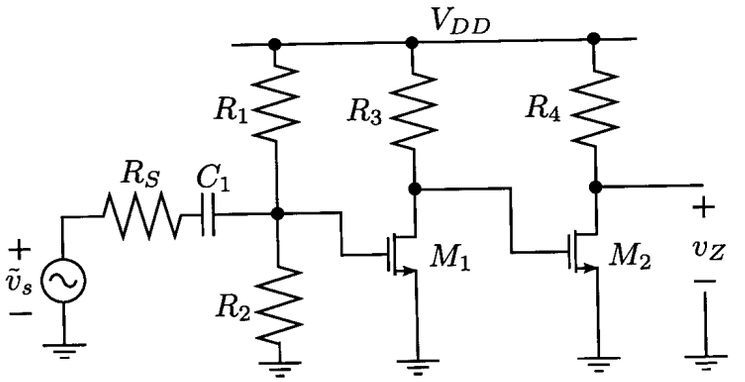


รูปที่ 10: วงจรสำหรับ Q-4

จงหา small signal voltage gain หรือ $\frac{\tilde{v}_z}{\tilde{v}_s}$ โดยใช้ model ของ BJT ที่ให้ใน formula sheets ในข้อสอบนี้

$\frac{\tilde{v}_z}{\tilde{v}_s} =$

Q-5) (20 คะแนน) จากวงจรในรูปที่ 11 กำหนดให้ $R_S = 500\,\Omega$, $R_1 = 46\,\text{k}\Omega$, $R_2 = 14\,\text{k}\Omega$, $R_3 = 230\,\text{k}\Omega$, $R_4 = 40\,\text{k}\Omega$, $V_{DD} = 3\,\text{V}$ C_1 มีค่าสูงมาก สำหรับ n-channel MOSFET กำหนดให้ใช้ข้อมูลดังต่อไปนี้ $k_{n1} = k_{n2} = 50\,\mu\text{A/V}^2$, $V_{Tn1} = V_{Tn2} = 0.5\,\text{V}$, $\lambda_{n1} = \lambda_{n2} = 0.01\,\text{V}^{-1}$, MOSFET ทั้งสองตัวมีขนาดที่แตกต่างกันดังนี้ สำหรับ M_1 MOSFET มีขนาดเท่ากับ $(W/L)_1 = 10$, และ สำหรับ M_2 MOSFET มีขนาดเท่ากับ $(W/L)_2 = 50$

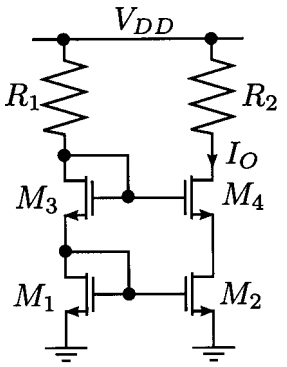


รูปที่ 11: วงจรสำหรับ Q-5

จงหา small signal voltage gain หรือ $\frac{\tilde{v}_z}{\tilde{v}_s}$ โดยใช้ model ของ MOSFET ที่ให้ใน formula sheets ในข้อสอบนี้

$$\frac{\tilde{v}_z}{\tilde{v}_s} =$$

Q-6) (25 คะแนน) จากวงจร cascode current mirror ในรูปที่ 12 กำหนดให้ $R_1 = 10\,\text{k}\Omega$, $R_2 = 1\,\text{k}\Omega$, $V_{DD} = 5\,\text{V}$ สำหรับ n-channel MOSFET กำหนดให้ใช้ข้อมูลดังต่อไปนี้ $k_n = 20\,\mu\text{A/V}^2$, $V_{Tn} = 1\,\text{V}$, $\lambda_n = 0\,\text{V}^{-1}$ MOSFET แต่ละตัวมีขนาดดังต่อไปนี้ M_1 MOSFET มีขนาดเท่ากับ $(W/L)_1 = 10$, M_2 MOSFET มีขนาดเท่ากับ $(W/L)_2 = 20$, M_3 MOSFET มีขนาดเท่ากับ $(W/L)_3 = 10$ และ M_4 MOSFET มีขนาดเท่ากับ $(W/L)_4 = 20$



รูปที่ 12: วงจร cascode current mirror สำหรับ Q-6

(a) [15 คะแนน] จงหาค่ากระแสที่ไหลผ่าน R_2 หรือ I_O ในรูปที่ 12 ระบุด้วยว่า MOSFET แต่ละตัวทำงานในสถานะใดพร้อมทั้งพิสูจน์ให้เห็นอย่างชัดเจน

(b) [5 คะแนน] จงหาค่าสูงสุดของ R_2 หรือ $R_{2(max)}$ ที่ทำให้ MOSFET M_4 ทำงานอยู่ในช่วง saturation

(c) [5 คะแนน] ถ้ามีการเปลี่ยนขนาดของ MOSFET M_4 ทำให้มีอัตราส่วน $(W/L)_4 = 80$ โดยที่ MOSFET ตัวอื่นมีคุณสมบัติเหมือนเดิม และ R_1 มีขนาดเท่าเดิม จงหาค่า $R_{2(max)}$ (ค่าความต้านทานมากที่สุดที่ทำให้ M_4 ยังทำงานอยู่ในช่วง saturation)

(a) I_O =

(b) $R_{2(max)}$ =

(c) $R_{2(max)}$ =