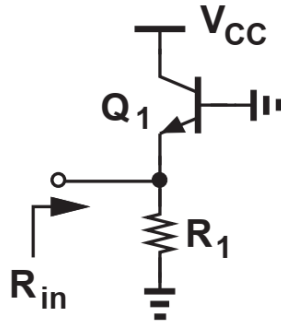
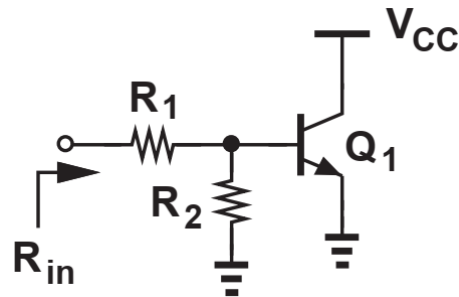




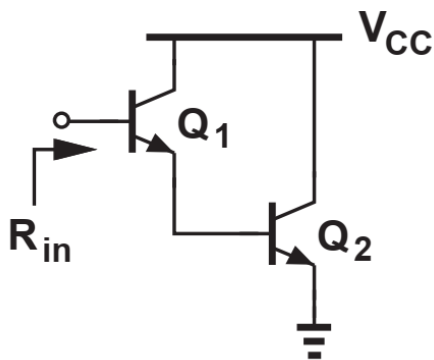
۱. مقاومت‌های ورودی را برای مدارهای زیر بیابید. ($V_A = \infty$)



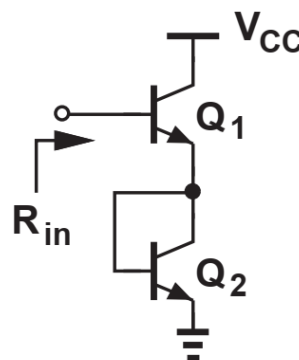
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

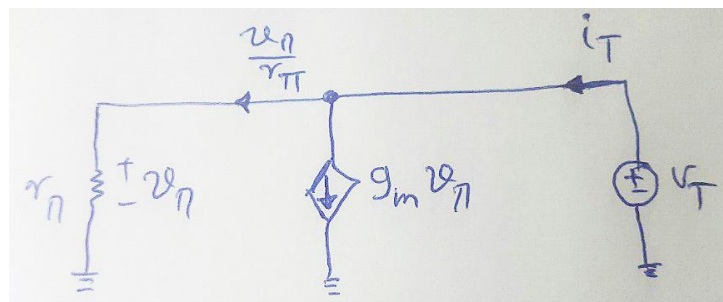
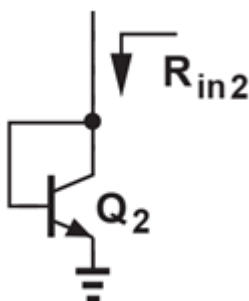
پاسخ:

(الف) با استفاده از مطالب گفته شده در کلاس: $R_{in} = R_1 + (R_2 \parallel r_{\pi})$

(ب) با استفاده از مطالب گفته شده در کلاس: $R_{in} = R_1 \parallel \left(\frac{1}{\frac{1}{g_{m1}} \parallel r_{\pi_1}} \right) \approx R_1 \parallel \frac{1}{g_{m1}}$

(ج) با توجه به شکل مدار مشاهده می‌کنید که مقاومت ورودی برابر است با: $R_{in} = r_{\pi_1} + (1 + \beta) R_{in2}$

برای محاسبه مقدار R_{in2} مدار معادل سیگنال کوچک را مطابق شکل زیر رسم کنید.



برای محاسبه مقدار R_{in2} مدار معادل سیگنال کوچک را مطابق شکل فوق رسم کنید. با توجه به شکل:

$$v_{\pi} = v_T$$

$$KCL: i_T = g_m v_{\pi} + \frac{v_{\pi}}{r_{\pi}} \Rightarrow i_T = \left(g_m + \frac{1}{r_{\pi}} \right) v_{\pi} \Rightarrow i_T = \left(g_m + \frac{1}{r_{\pi}} \right) v_T$$

$$\Rightarrow \frac{v_T}{i_T} = \frac{1}{g_m + \frac{1}{r_{\pi}}} = \frac{1}{g_m} \parallel r_{\pi}$$

بنابراین

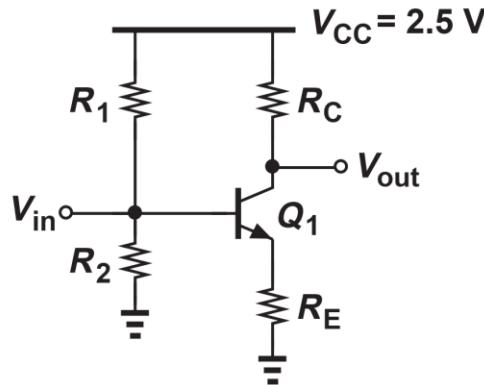
$$R_{in} = r_{\pi_1} + (1 + \beta) \left(\frac{1}{g_{m_2}} \parallel r_{\pi_2} \right)$$

(د) با استفاده از مطالب گفته شده در کلاس: $R_{in} = r_{\pi_1} + (1 + \beta_1) r_{\pi_2}$

۲. تقویت کننده امیتر مشترک زیر را طوری طراحی کنید که اندازه بهره ولتاژ تقویت کننده برابر ۵ باشد. همچنین

مقاومت خروجی برابر ۵۰۰ اهم باشد. افت ولتاژ بر روی مقاومت امیتر را ۳۰۰ میلی‌ولت فرض کنید.

$$(\beta = 100, V_{BE} = 750^{mV}, V_A = \infty)$$



با توجه به اینکه بهره ولتاژ برابر ۵ و افت ولتاژ مقاومت امیتر $R_E I_E = 300^{mV}$ مدنظر است، با استفاده از تقریب

$$I_E \approx I_C \text{ داریم:}$$

$$A_v = \left| \frac{v_{out}}{v_{in}} \right| = \frac{R_C}{\frac{1}{g_m} + R_E} = \frac{R_C I_C}{R_E I_C + V_T} = \frac{R_C I_C}{300^{mV} + 26^{mV}} = 5 \Rightarrow R_C I_C = 1.63v$$

از طرف دیگر طبق صورت سوال، مقاومت خروجی 500Ω مدنظر است. بنابراین:

$$R_{out} = R_C = 500\Omega \Rightarrow I_C = \frac{1.63^v}{500\Omega} = 3.26mA \quad I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{3.26mA}{100} = 32.6\mu A$$

با به دست آمدن مقدار جریان کلکتور (جریان امیتر)، به راحتی می‌توان مقاومت امیتر را نیز از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$R_E I_C = 300^{mV} \Rightarrow R_E = \frac{300^{mV}}{3.26^{mA}} \approx 92\Omega$$

حال با استفاده از روابط طراحی مدار بایاس، مقادیر مقاومت‌های R_1 و R_2 را محاسبه می‌کنیم:

$$\left. \begin{aligned} \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2} = 10I_B &\Rightarrow \frac{2.5}{R_1 + R_2} = 326\mu A \Rightarrow R_1 + R_2 = 7.67k\Omega \\ V_{BE} + R_E I_C = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{CC} &\Rightarrow 750^{mv} + 300^{mv} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times 2.5^v \end{aligned} \right\} \Rightarrow R_1 = 4.45k\Omega, \quad R_2 = 3.22k\Omega$$

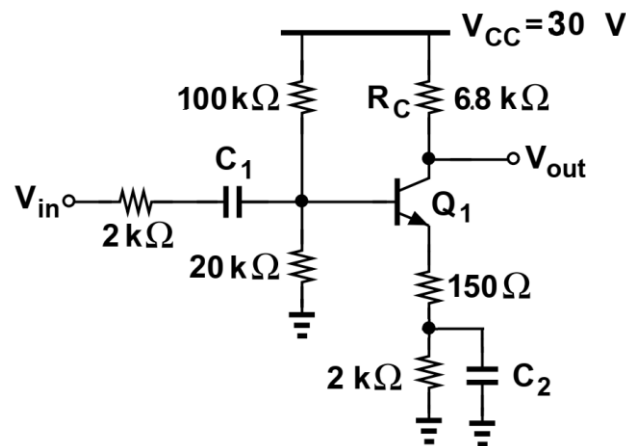
با نوشتن KVL در حلقه خروجی می‌توانیم مقدار ولتاژ کلکتور امیتر را به دست آورده و از روشن بودن ترانزیستور مطمئن شویم.

$$-V_{CC} + R_C I_C + V_{CE} + R_E I_C = 0$$

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C - R_E I_C = 2.5^v - 1.63^v - 300^{mv} = 0.57^v$$

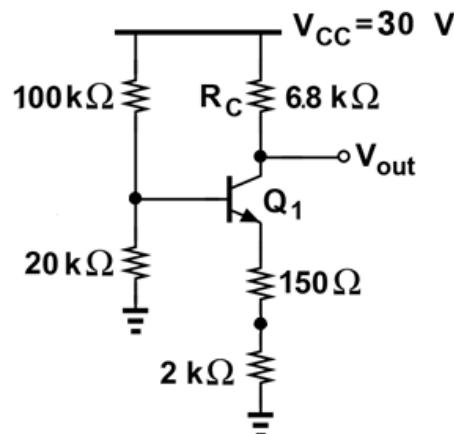
مشاهده می‌شود که ترانزیستور در مرز روشن شدن است. بنابراین همچنان روابط ناحیه فعال صحیح است. اما حتی الامکان باید سعی شود تا از ترانزیستور در ناحیه فعال استفاده شود.

۳. در مدار تقویت‌کننده امیتر مشترک شکل زیر بهره ولتاژ $(\frac{V_{out}}{V_{in}})$ ، مقاومت ورودی (R_{in}) و همچنین مقاومت خروجی (R_{out}) را محاسبه کنید.



پاسخ: برای به دست آوردن بهره ولتاژ تقویت‌کننده فوق، ابتدا باید جریان نقطه کار (I_C) را به دست آوریم. سپس مقادیر g_m و r_π را به دست آورده و از روی روابط گفته شده در کلاس، بهره ولتاژ و مقادیر مقاومت‌های ورودی و خروجی را به دست می‌آوریم.

به دست آوردن جریان نقطه کار I_C : بدین منظور باید تحلیل DC انجام دهیم. در این حالت خازن‌ها مدار باز هستند. در نتیجه مدار فوق به صورت زیر ساده می‌شود:



با چشم‌پوشی از جریان بیس، ولتاژ گره بیس برابر خواهد بود با:

$$V_X = \frac{20^{k\Omega}}{20^{k\Omega} + 100^{k\Omega}} \times 30^v = 5^v$$

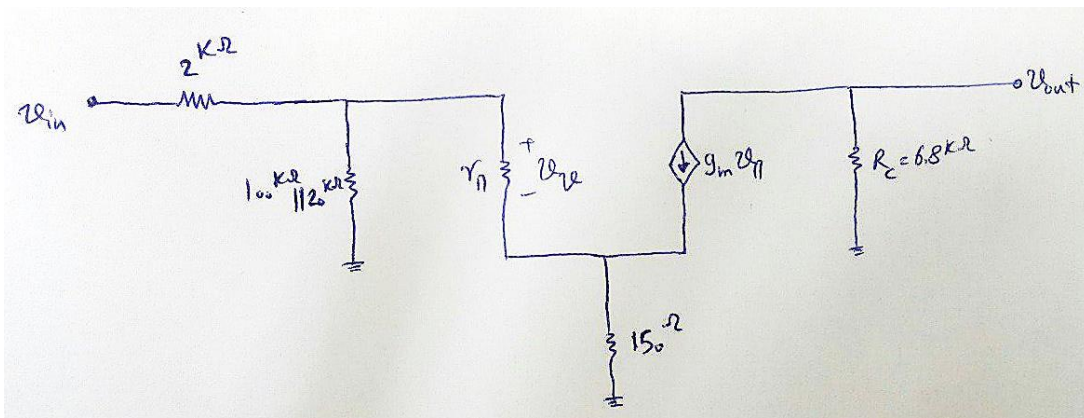
بنابراین با فرض $I_C = I_E$ ، می‌توان به صورت تقریبی جریان کلکتور را محاسبه کرد:

$$I_E = I_C = \frac{V_X - V_{BE}}{R_{E1} + R_{E2}} = \frac{5 - 0.7}{2^{k\Omega} + 150^{\Omega}} \approx 2mA$$

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{2mA}{26mV} \approx 77mS \quad r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m} = \frac{100}{77mS} = 1.23K\Omega$$

$$A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}} = - \frac{R_C}{\frac{1}{g_m} + R_E} = - \frac{6.8K\Omega}{\frac{1}{77mS} + 150^{\Omega}} = 41.72$$

مدار معادل سیگنال کوچک به شکل زیر است:



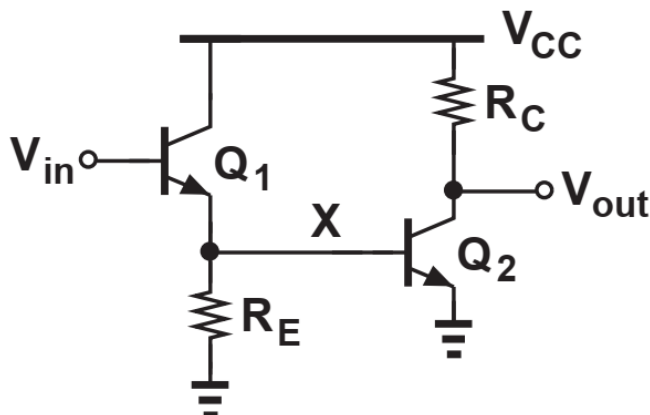
مقاومت ورودی برابر است با:

$$\begin{aligned} R_{in} &= 2^{k\Omega} + \left[100^{k\Omega} \parallel 20^{k\Omega} \parallel \left(r_{\pi} + (1 + \beta) \times 150^{\Omega} \right) \right] \\ &= 2^{k\Omega} + 16.7^{k\Omega} \parallel \left(1.23^{k\Omega} + 100 \times 150^{\Omega} \right) \\ &= 2^{k\Omega} + 16.7^{k\Omega} \parallel 16.23^{k\Omega} = 2^{k\Omega} + 8.23^{k\Omega} = 10.23^{k\Omega} \end{aligned}$$

بدیهی است که مقاومت خروجی برابر $R_{out} = R_C = 6.8K\Omega$ است.

۴. مدار تقویت‌کننده دوطبقه متشکل از امیتر فالور و امیتر مشترک شکل زیر را در نظر بگیرید. با فرض $V_A < \infty$ ،

بهره ولتاژ $\left(\frac{V_{out}}{V_{in}} \right)$ ، مقاومت ورودی (R_{in}) و همچنین مقاومت خروجی (R_{out}) را محاسبه کنید.

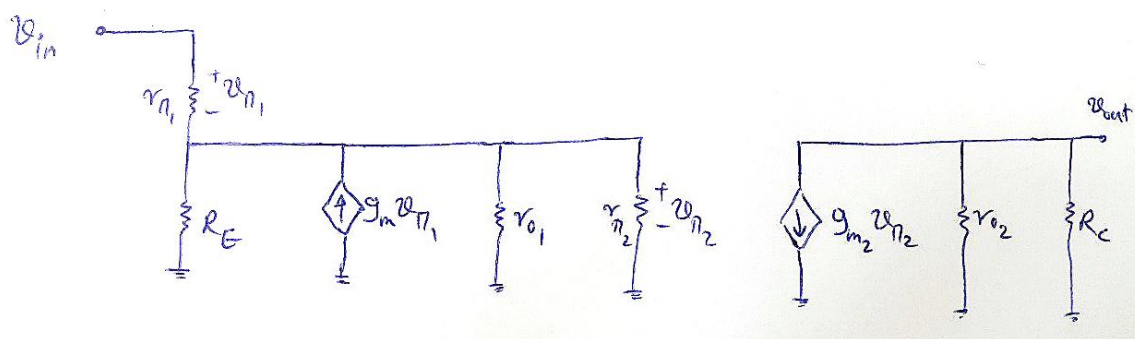
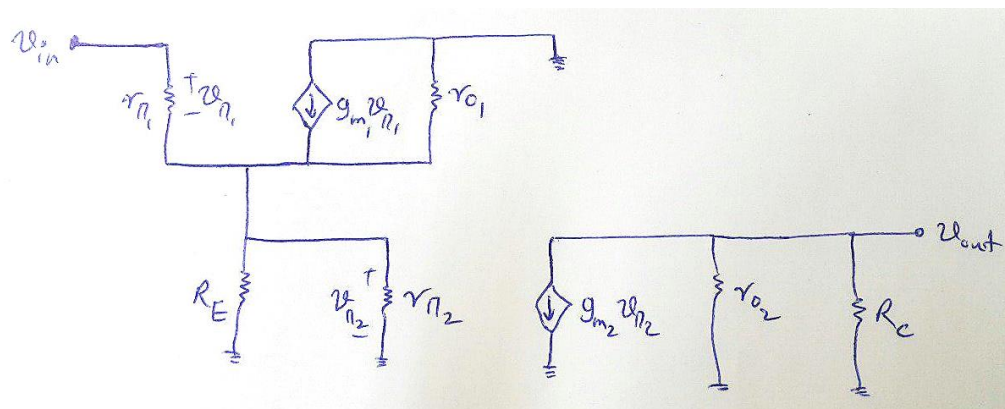


$$R_{in} = r_{\pi_1} + (1 + \beta)(R_E \parallel r_{\pi_2} \parallel r_{o_1})$$

$$R_{out} = R_c \parallel r_{o_2}$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{v_{out}}{v_X} &= -g_{m_2}(R_c \parallel r_{o_2}) \\ \frac{v_X}{v_{in}} &= \frac{R_E \parallel r_{\pi_2} \parallel r_{o_1}}{\frac{1}{g_{m_1}} + R_E \parallel r_{\pi_2} \parallel r_{o_1}} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{v_{out}}{v_X} \times \frac{v_X}{v_{in}} = -g_{m_2} \frac{(R_c \parallel r_{o_2})(R_E \parallel r_{\pi_2} \parallel r_{o_1})}{\frac{1}{g_{m_1}} + R_E \parallel r_{\pi_2} \parallel r_{o_1}}$$

در این سوال هدف این است که بدون رسم مدل سیگنال کوچک بتوانید مسئله را حل کنید. با در نظر گرفتن اثر ارلی ($V_A < \infty$) مقاومت r_o بین کلکتور و امیتر وجود خواهد داشت. به دلیل اینکه در مدل سیگنال کوچک کلکتور ترانزیستور Q_1 زمین می‌شود. بنابراین برای محاسبه بهره ولتاژ و مقاومت ورودی، این مقاومت با مقاومت R_E و همچنین مقاومت r_{π_2} موازی می‌شود. در نتیجه روابط فوق برقرار خواهد بود. به دلیل اینکه هدف از این تمرین آموزش است، برای فهم بهتر مدار معادل سیگنال کوچک را نیز در ادامه رسم می‌کنیم:



موفق باشید

صفوی