۶-۱۲ مسائل

۱. مشخصات ترانزیستورهای فرکانس بالا غالباً برحسب پارامترهای yداده می‌شوند. این پارامترها به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$i_1 = y_{11} v_1 + y_{12} v_2$$
$$i_2 = y_{21} v_1 + y_{22} v_2$$

الف) یک مدار معادل شبیه شکل ۶-۳ با استفاده از پارامترهای y ترسیم نمایید.

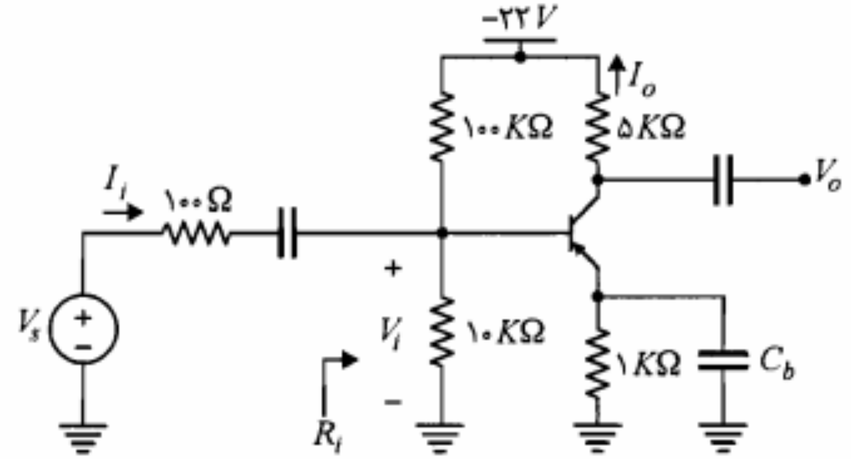
ب) برای هر یک از پارامترهای y یک تعریف مشخص ارائه نمایید.

۲. پارامترهای هیبرید h تقویت‌کننده بیس مشترک را برحسب پارامترهای h_{fe}، h_{ie}، h_{re} و h_{oe} به دست آورید.

۳. در تقویت‌کننده شکل م-۳ ترانزیستور دارای $h_{fe} = ۱۰۰$ است.

الف) کمیتهای A_I، R_i و A_{V_s} را محاسبه کنید.

ب) اگر فقط نیمی از مقاومت امیتر را توسط خازن کنارگذر C_b بایپاس نماییم، A_I، R_i و A_{V_s} چقدر خواهند شد؟ این عمل چگونه به خطی‌تر شدن تقویت‌کننده برای سیگنالهای بزرگ کمک می‌کند؟



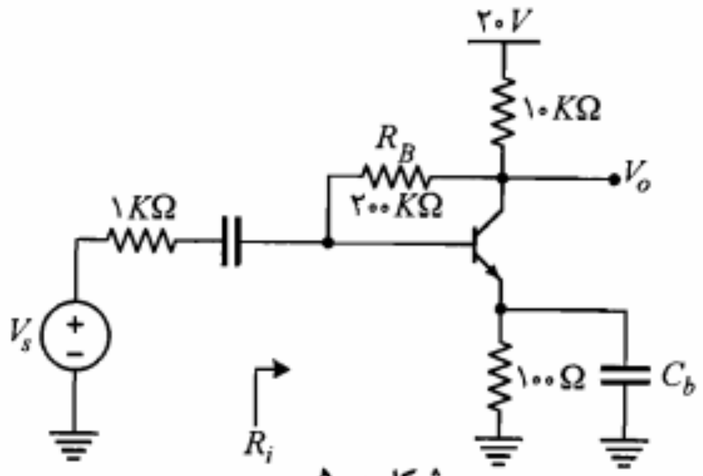
شکل م-۳

۴. یک تقویت‌کننده بیس مشترک با $R_i < ۲۰\ \Omega$ و $A_{V_o} > ۵۰$، $(A_{V_o} = \lim_{R_L \to \infty} A_V)$ طراحی کنید که در آن دامنه نوسان متقارن خروجی حداکثر بوده و پایداری مطلوبی نسبت به تغییرات β داشته باشد $(۱۵۰ > \beta > ۱۰۰)$. در صورتی که β فوق مناسب نبود به دلخواه از یک β با میزان تغییرات مناسب استفاده کنید.

۵. در تقویت‌کننده شکل م-۵ ترانزیستور دارای $h_{fe} = ۱۰۰$ و $h_{oe} = h_{re} = ۰$ است.

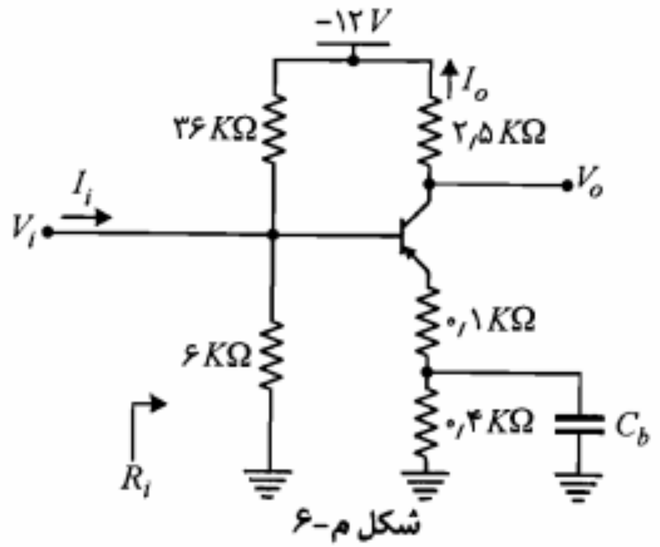
الف) کمیتهای A_{V_s} و R_i را محاسبه نمایید.

ب) اگر وسط مقاومت R_B را توسط خازن به زمین متصل کنیم، کمیتهای مذکور چقدر خواهند شد؟



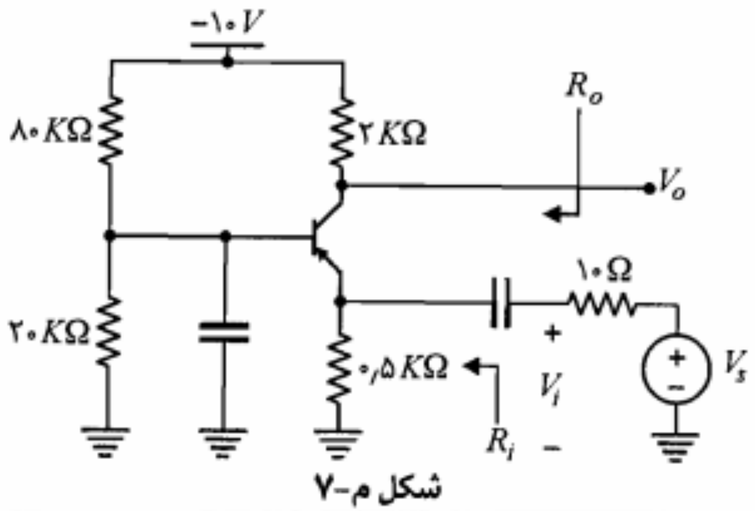
شکل م-۵

۶. در مدار تقویت‌کننده شکل م-۶، با فرض $h_{fe} = ۱۰۰$ و $h_{re} = h_{oe} = ۰$، بهره جریان، بهره ولتاژ و مقاومت ورودی را محاسبه نمایید.



شکل م-۶

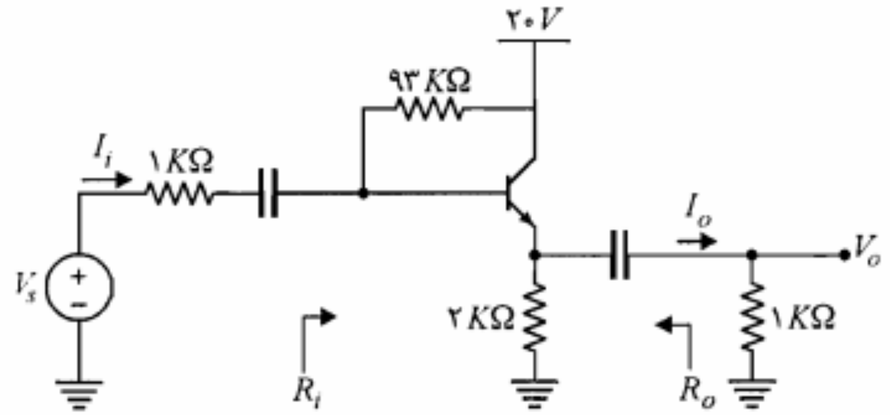
۷. در مدار شکل م-۷ با فرض $h_{fe} = ۱۰۰$، مقادیر A_V، A_{V_s}، R_i، A_I و R_o را محاسبه نمایید.



شکل م-۷

۸. یک تقویت‌کننده امیتر مشترک با $A_V = ۲۰۰$ و $R_i \cong ۱\ K\Omega$ طوری طراحی نمایید که نقطه کار آن از پایداری خوبی نسبت به تغییرات β برخوردار باشد. $V_{CC} = ۱۸\ V$ و $h_{fe} = ۱۰۰$ است.

۹. در تقویت‌کننده امیتر فالوئر شکل م-۹ که ترانزیستور آن دارای $h_{fe} = ۵۰$ است، مقادیر A_I، A_{V_s}، R_i و R_o را محاسبه نمایید. حداکثر دامنه ولتاژ ورودی V_s که تقویت‌کننده برای آن خطی می‌ماند چقدر است؟ در صورت افزایش حداکثر ورودی، شکل موج خروجی از بالا زودتر برش داده می‌شود یا از پایین؟ توضیح دهید.



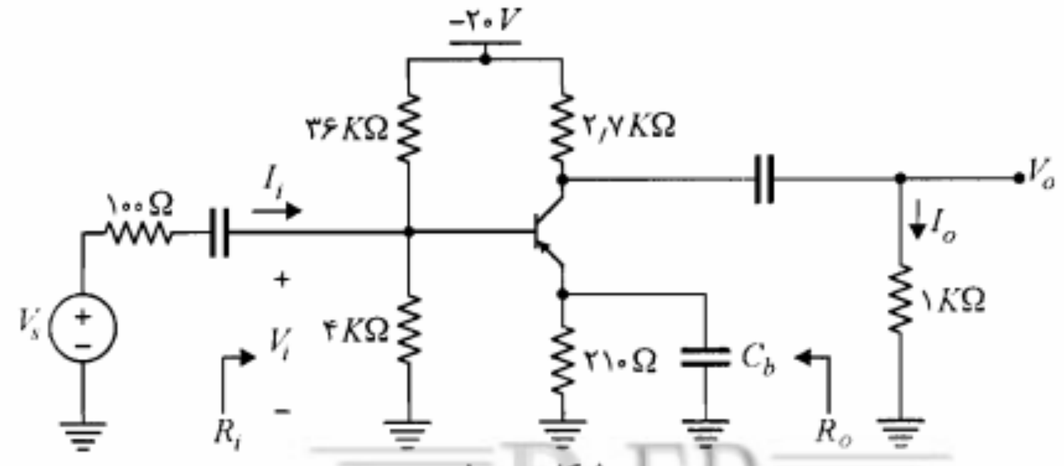
شکل م-۹

۱۰. در تقویت‌کننده شکل م-۱۰ ترانزیستور دارای $h_{fe} = ۴۰$ است.

الف) مقادیر A_I، R_i، A_V، A_{V_s} و R_o را محاسبه نمایید.

ب) اگر ترانزیستور را با یک ترانزیستور NPN با همان h_{fe} عوض کنیم، چه تغییری در مدار لازم است تا مقادیر کمیتهای بند (الف) تغییر نکند؟

ج) اگر در مدار جدید ترانزیستور NPN دارای $h_{fe} = ۱۰۰$ باشد، مقادیر جدید کمیتهای A_I، R_i، A_V و A_{V_s} چقدر خواهند شد؟

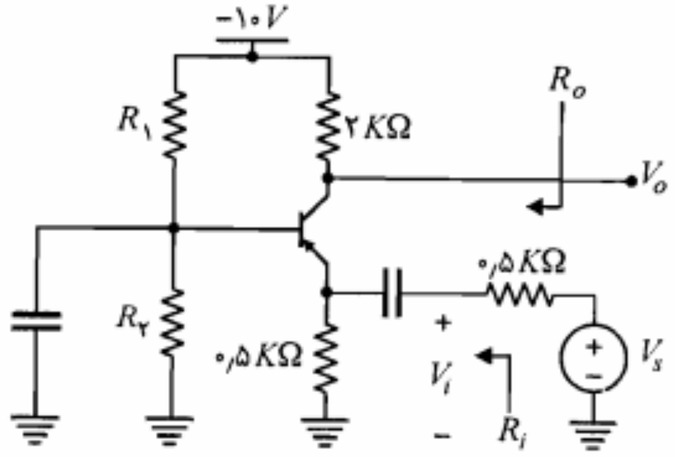


شکل م-۱۰

۱۱. تقویت‌کننده شکل م-۱۱ را در نظر بگیرید. فرض کنید $۵۰ < \beta < ۱۰۰$ است.

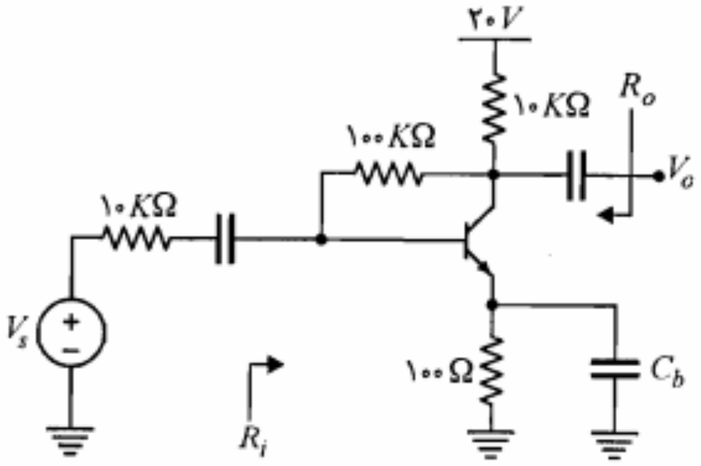
الف) مقاومتهای $R_۱$ و $R_۲$ را طوری تعیین کنید که دامنه نوسانات متقارن خروجی حداکثر شده و نقطه کار از پایداری مطلوبی در برابر تغییرات β برخوردار باشد.

ب) مقادیر A_V، A_{V_s}، R_i، A_I و R_o را محاسبه نمایید.



شکل م-۱۱

۱۲. در تقویت‌کننده شکل م-۱۲ با فرض $h_{fe} = ۱۵۰$، $h_{oe}^{-۱} = ۳۰K\Omega$ و $h_{re} = ۲ \times ۱۰^{-۴}$، با استفاده از مدل دقیق هیبرید h مقادیر کمیتهای A_I، R_i، A_V، A_{V_s} و R_o را محاسبه نمایید.



شکل م-۱۲

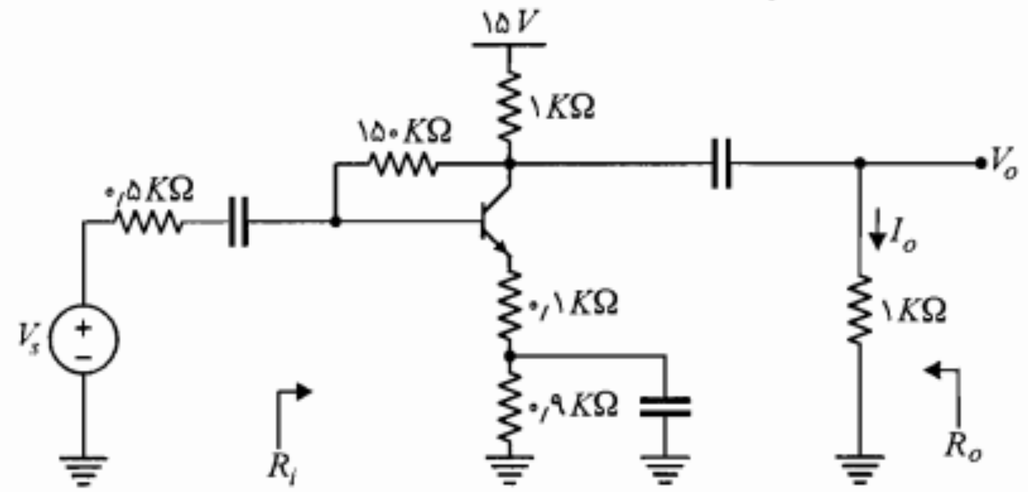
۱۳. در مدار شکل م-۱۳ با فرض $h_{oe} \cong ۰$، $h_{re} \cong ۰$، $h_{fe} \cong ۱۵۰$، $V_{CE}(sat) = ۰٫۲\ V$

الف) نقطه کار DC را تعیین کنید.

ب) معادله خط بارهای DC و ac را بنویسید.

ج) حداکثر دامنه نوسان بدون اعوجاج ولتاژ خروجی از بالا و پایین تقریباً چقدر است؟

د) مقادیر کمیتهای A_V، A_{V_s}، A_I، R_i و R_o را محاسبه کنید.



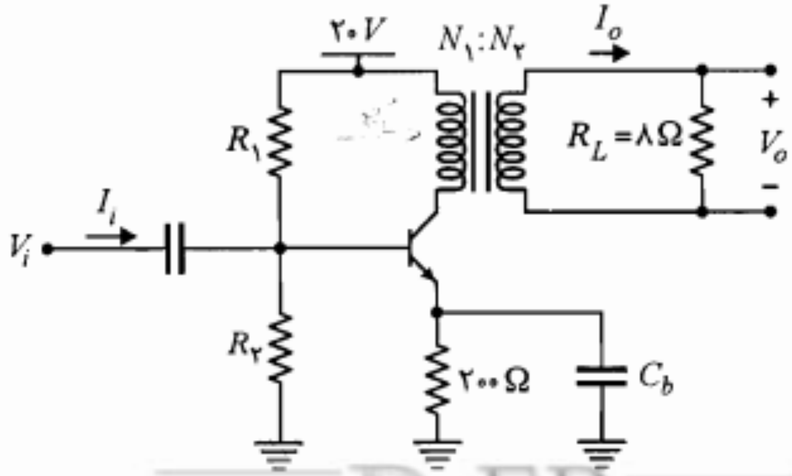
شکل م-۱۲

۱۴. یک مدار بافر با مشخصات $A_V > ۰/۹۹$ و $R_i > ۲\,M\Omega$، با استفاده از روش بوت استرپ به نحوی طراحی کنید، که مدار دارای پایداری مطلوب نسبت به تغییرات β بوده و دامنه نوسان متقارن خروجی آن حداکثر باشد. $۱۵۰ > h_{fe} > ۱۰۰$ و $V_{CC} = ۱۵\,V$ است.

۱۵. تقویت‌کننده شکل م-۱۵ که به نام تقویت‌کننده کلاس A با کوپلاژ ترانسفورماتوری معروف است را در نظر بگیرید. با فرض $h_{fe} = ۵۰$، ترانسفورماتور ایده‌آل بامقاومت اهمی صفر و $N_۱/N_۲ = ۵$

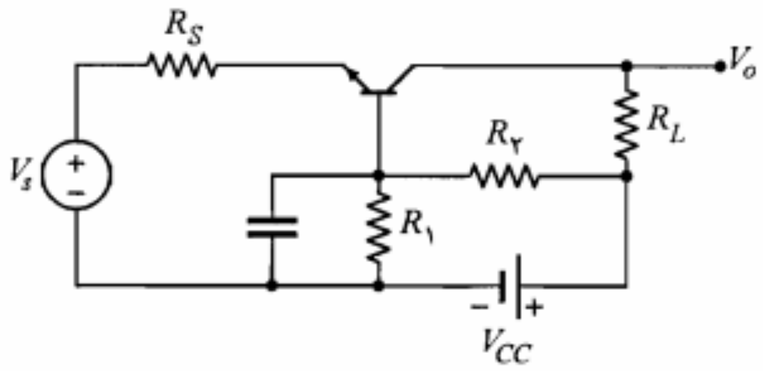
الف) مقاومتهای $R_۱$ و $R_۲$ را طوری تعیین نمایید که نقطه کار از پایداری خوبی نسبت به تغییرات β برخوردار باشد و در وسط خط بار ac قرار گیرد.

ب) کمیتهای A_I، A_V و $A_P = \dfrac{P_o}{P_i} = \dfrac{V_o I_o}{V_i I_i}$ را محاسبه نمایید.



شکل م-۱۵

۱۶. در مدار شکل م-۱۶، $h_{fe} = ۱۰$، $h_{re} = ۰$، $h_{oe}^{-۱} = ۱۰\,K\Omega$، $R_L = ۱۰\,K\Omega$ و $R_S = ۵۰\,\Omega$ است. $R_۱$، $R_۲$ و V_{CC} را چنان تعیین کنید که A_{V_s} حداکثر شود.

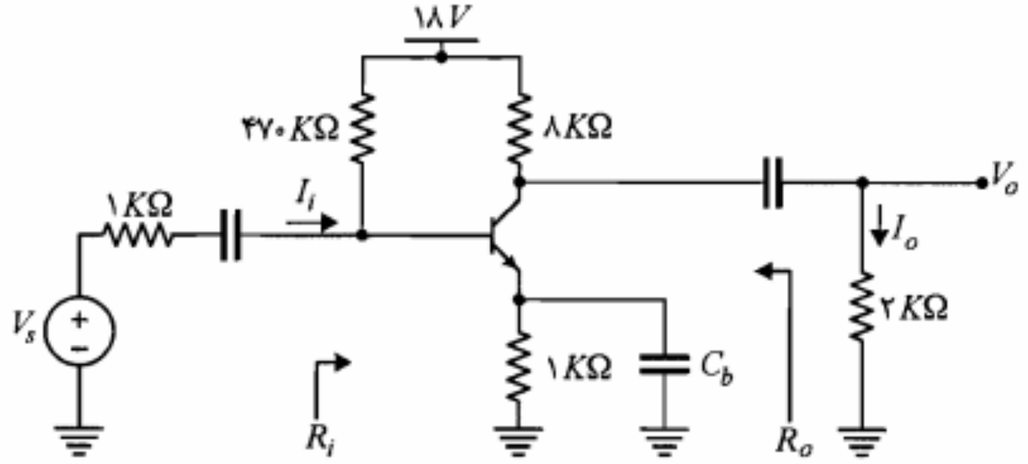


شکل م-۱۶

۱۷. در تقویت‌کننده شکل م-۱۷ ترانزیستور دارای $h_{fe} = ۲۰$ و $h_{oe} = h_{re} \cong ۰$ است.

الف) کمیتهای A_I، R_i، R_o و A_{V_s} را محاسبه کنید.

ب) اگر خازن کنارگذر C_b را بر داریم مقادیر جدید R_i و R_o چقدر خواهند بود؟



شکل م-۱۷

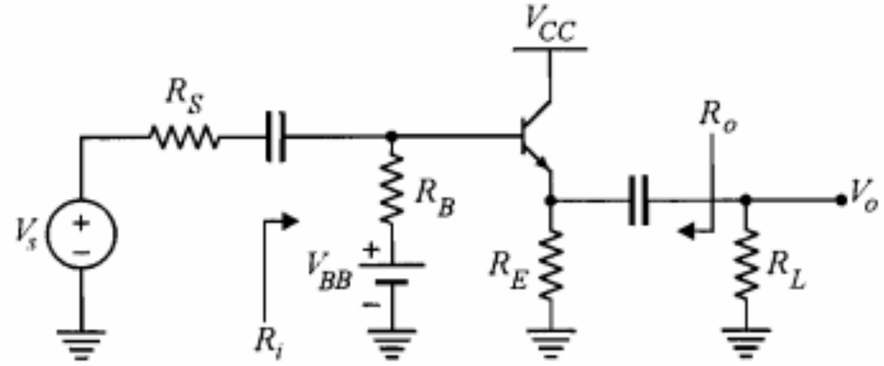
۱۸. برای مدار شکل م-۱۸، با فرض $R_E = ۱\,K\Omega$، $h_{fe} = ۱۶۰$، $h_{ie} \cong ۰$ و $R_B \to \infty$ مطلوب است:

الف) رسم تغییرات A_V برحسب R_S $(\infty > R_S > ۰$ و $R_L = ۱\,K\Omega)$.

ب) رسم تغییرات A_V برحسب R_L $(\infty > R_L > ۰$ و $R_S = ۱\,K\Omega)$.

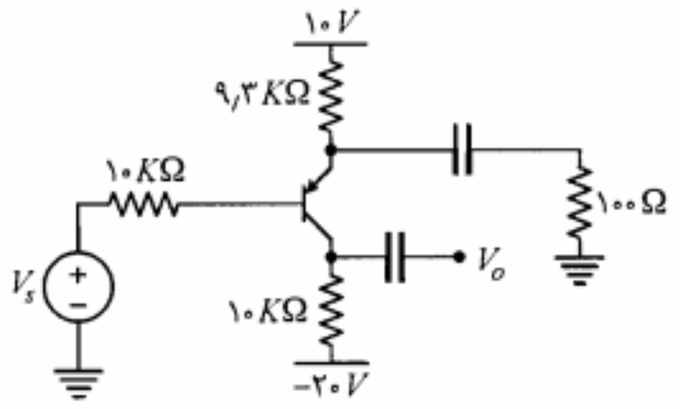
ج) رسم تغییرات R_i برحسب R_L $(\infty > R_L > ۰)$.

د) رسم تغییرات R_o برحسب R_S $(\infty > R_S > ۰)$.



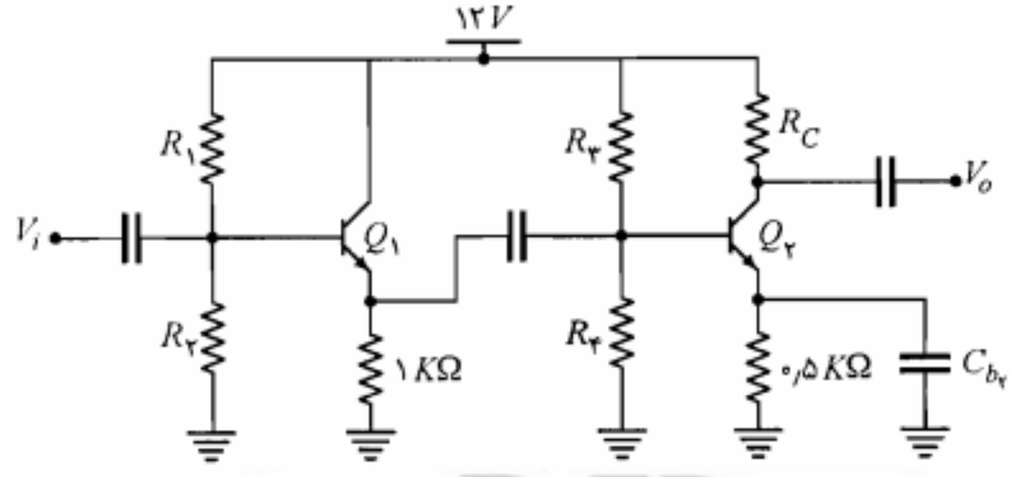
شکل م-۱۸

۱۹. در مدار شکل م-۱۹، با فرض $h_{fe} = ۱۰۰$، مقدار A_{V_s} را محاسبه نمایید.



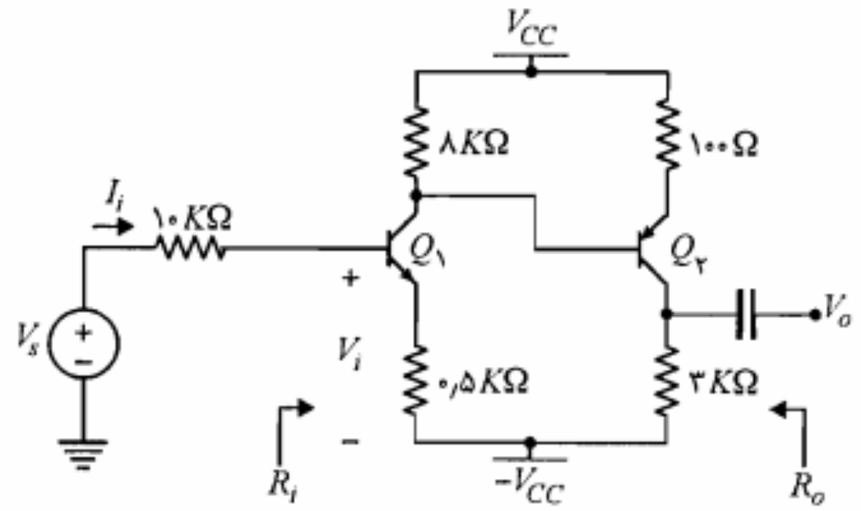
شکل م-۱۹

۲۰. در تقویت‌کننده شکل م-۲۰ برای هر دو ترانزیستور، $h_{fe} = ۱۰۰$، $h_{re} = ۰$، $h_{oe} = ۰$ و برای $Q_۲$ در نقطه کار $h_{ie_۲} = ۱\ K\Omega$ است. مقاومتهای $R_۱$، $R_۲$، $R_۳$، $R_۴$ و R_C را طوری تعیین نمایید که هر دو ترانزیستور از پایداری خوب نقطه کار برخوردار بوده و دامنه نوسان متقارن خروجی هر یک حداکثر باشد. همچنین می‌خواهیم $|A_V| \geq ۱۰۰$ باشد.



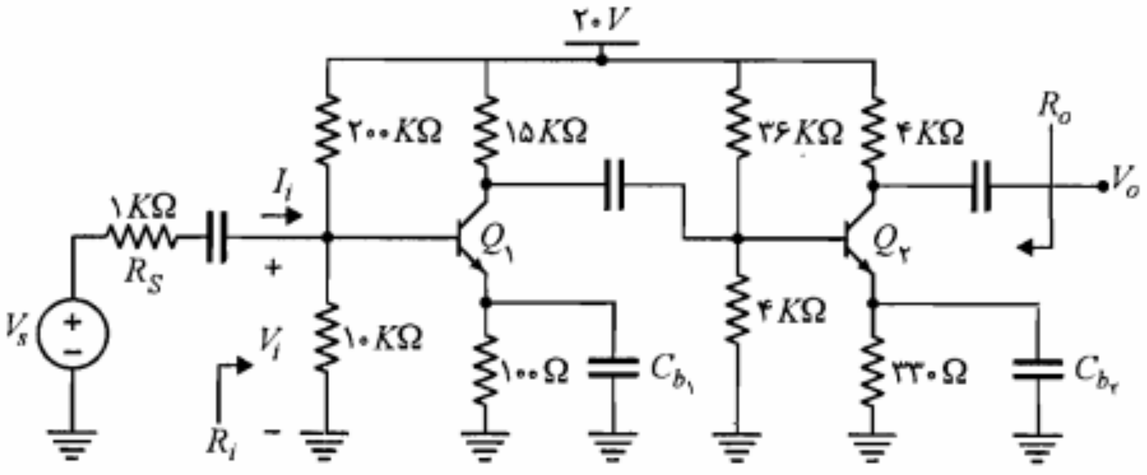
شکل م-۲۰

۲۱. در مدار تقویت کننده شکل م-۲۱، با فرض $h_{ie_۱} \cong h_{ie_۲} = ۱٫۱\ K\Omega$ ، $h_{fe_۱} \cong h_{fe_۲} = ۵۰$، $h_{re_۱} \cong h_{re_۲} = ۰$ و $h_{oe_۱}^{-۱} \cong h_{oe_۲}^{-۱} = ۴۰\ K\Omega$، مقادیر کمیتهای R_i، A_I، A_V و A_{V_s} را به دست آورید.



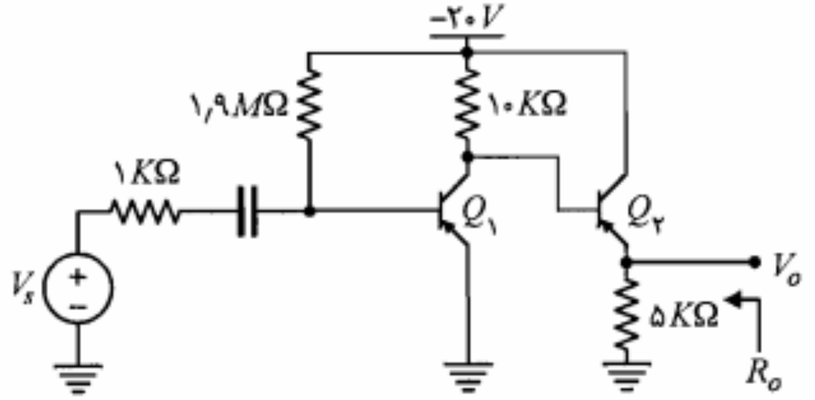
شکل م-۲۱

۲۲. در مدار تقویت‌کننده شکل م-۲۲ ترانزیستورها مشابه و دارای $h_{fe} = ۵۰$، $h_{oe}^{-۱} = ۴۰\ K\Omega$ و $h_{re} \cong ۰$ هستند. مقادیر A_V، A_{V_s}، R_i، A_I و R_o را محاسبه کنید.



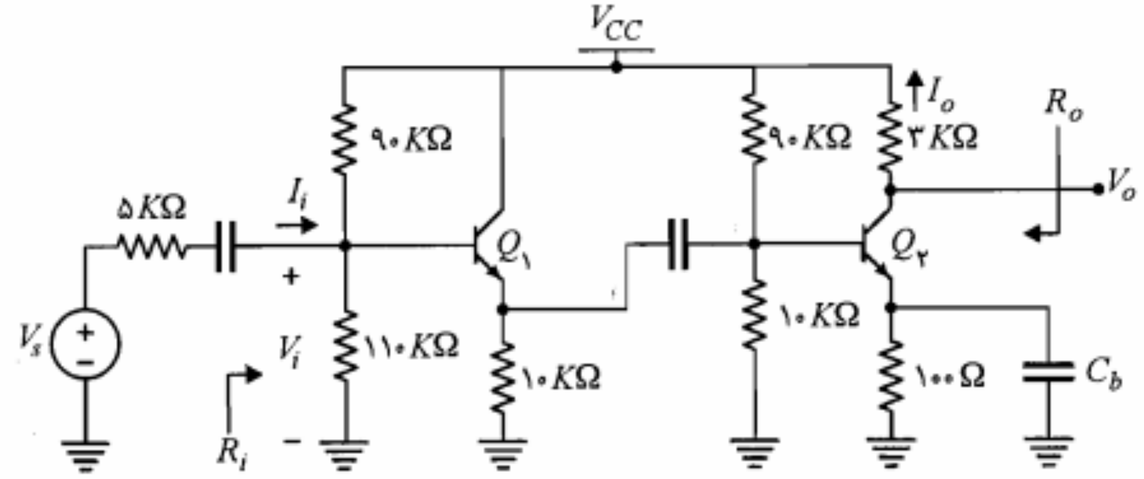
شکل م-۲۲

۲۳. در تقویت‌کننده دو طبقه شکل م-۲۳، $h_{fe_۱} = h_{fe_۲} = ۱۰۰$ و $h_{oe_۱}^{-۱} \cong h_{oe_۲}^{-۱} = ۴۰\ K\Omega$ است. جریان نقطه کار ترانزیستورها، A_V و R_o را محاسبه نمایید.



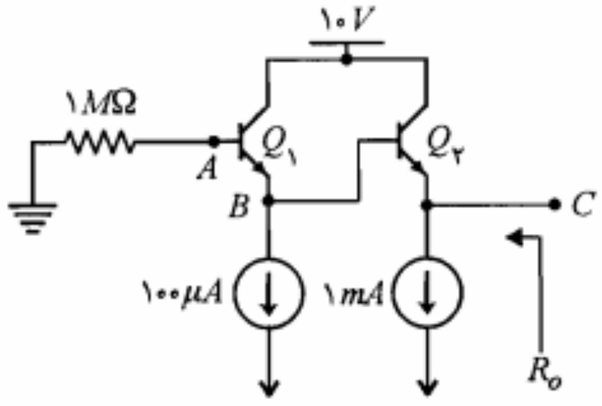
شکل م-۲۳

۲۴. در مدار شکل م-۲۴ برای هر دو ترانزیستور $h_{ie} = ۳\ K\Omega$، $h_{fe} = ۱۰۰$، $h_{oe} \cong ۰$ و $h_{re} \cong ۰$ است. مقاومتهای ورودی و خروجی و نیز بهره‌های جریان و ولتاژ مدار را محاسبه کنید.



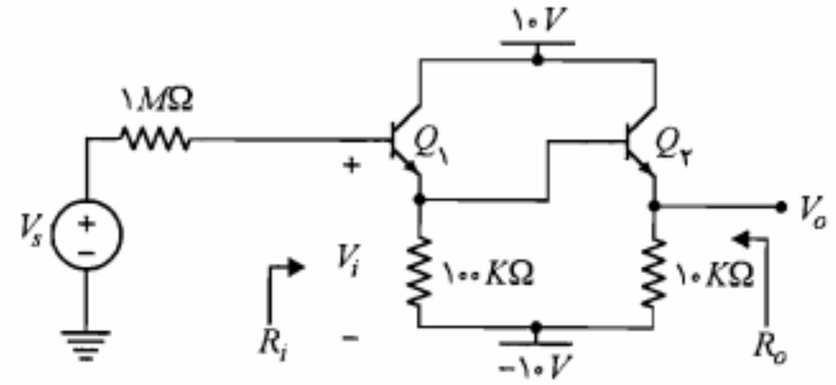
شکل م-۲۴

۲۵. در مدار شکل م-۲۵ با فرض $V_{BE} = ۰٫۷\ V$ و $\beta = ۱۰۰$، ولتاژهای DC نقاط A، B و C را به دست آورید. مقاومت خروجی R_o را نیز محاسبه نمایید.



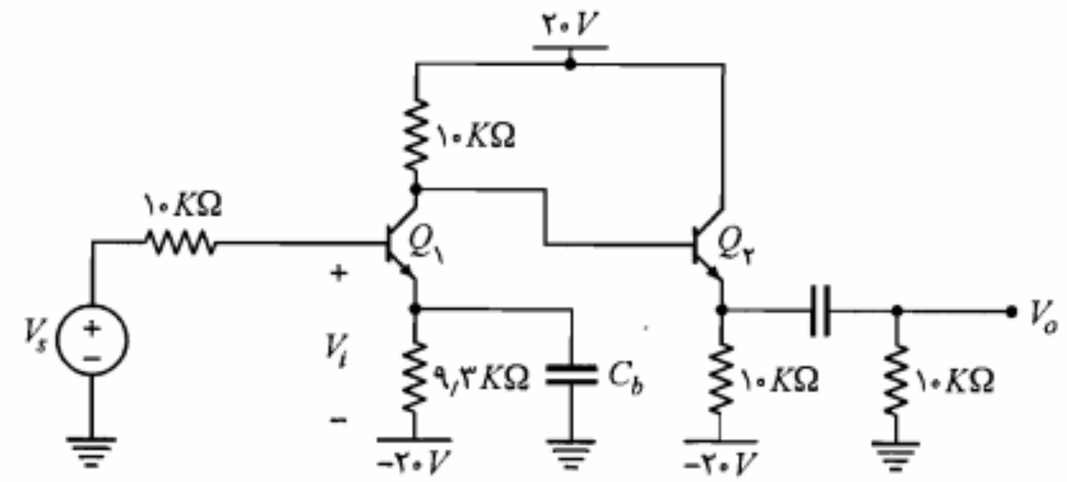
شکل م-۲۵

۲۶. در مدار شکل م-۲۶ با فرض $V_{BE} = ۰٫۷\ V$، $\beta = ۱۰۰$ و $V_{CE}(sat) = ۰٫۲V$، ولتاژ DC خروجی، حداکثر دامنه بدون اعوجاج خروجی و مقادیر A_V، R_o و R_i را محاسبه نمایید.



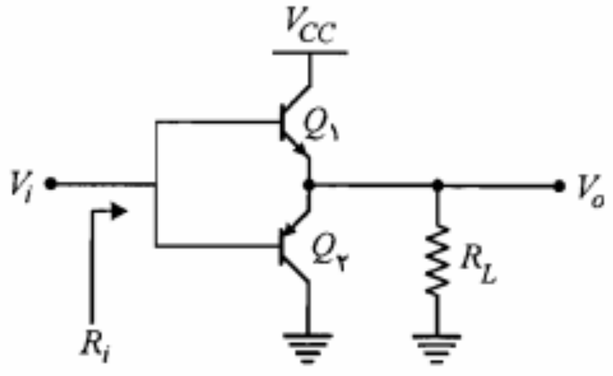
شکل م-۲۶

۲۷. در مدار شکل م-۲۷، $V_{BE} = ۰٫۷V$ و $\beta = ۵۰$، مقادیر A_{V_s}، R_i، R_o و A_I را به دست آورید.



شکل م-۲۷

۲۸. در تقویت‌کننده شکل م-۲۸ پارامترهای هر دو ترانزیستور مشابه‌اند. مقادیر A_V و R_i را برحسب پارامترهای هیبرید h ترانزیستور محاسبه نمایید ($h_{re} = h_{oe} = ۰$).



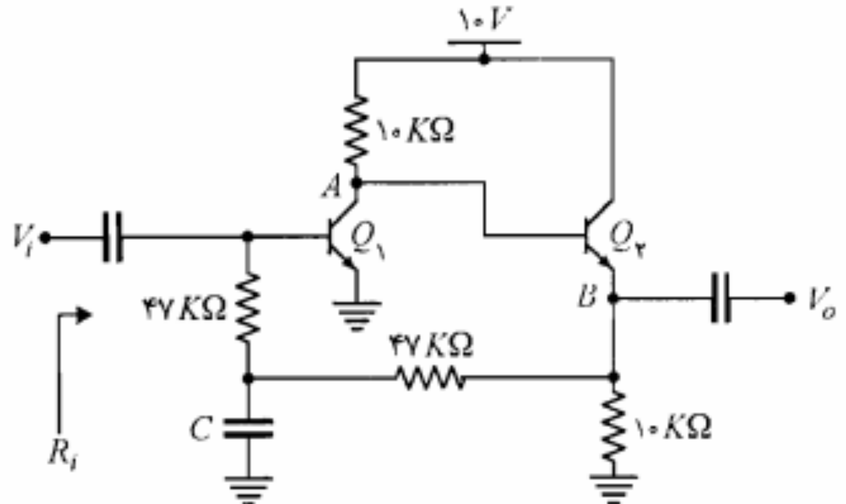
شکل م-۲۸

۲۹. برای مقادیر بسیار بزرگ β و $V_{BE} = ۰/۷\ V$، ولتاژ DC نقاط A و B شکل م-۲۹ را به دست آورید. بهره ولتاژ و مقاومتهای ورودی و خروجی را برای حالتهای زیر محاسبه کنید.

الف) مدار را مطابق شکل م-۲۹ در نظر بگیرید.

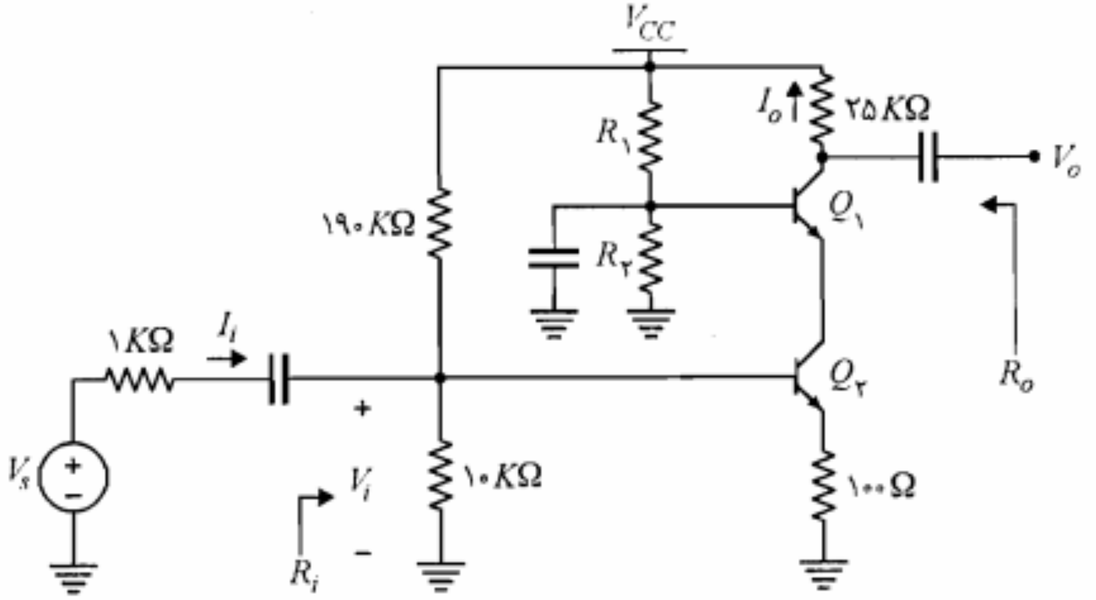
ب) خازن C را حذف نمایید.

ج) برای بند (الف) با فرض $V_{CE}(sat) = ۰/۲\ V$، بزرگترین دامنه موج سینوسی خروجی بدون برش و اعوجاج چقدر خواهد بود؟



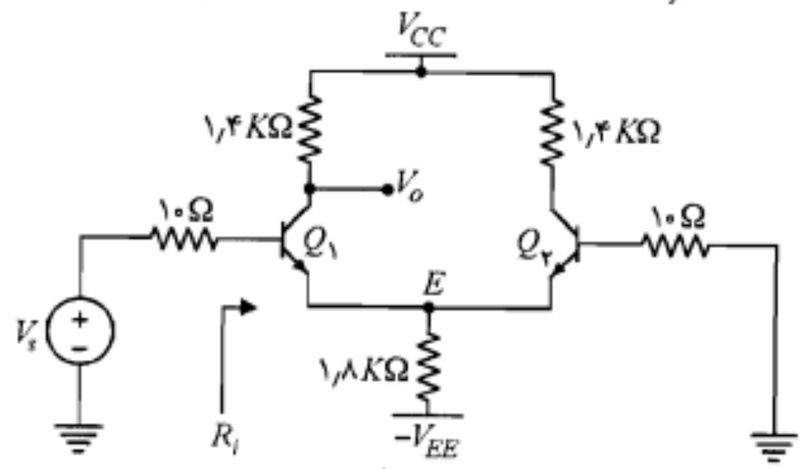
شکل م-۲۹

۳۰. در تقویت‌کننده شکل م-۳۰ ترانزیستورها مشابه و برای آنها $h_{ie} = ۱\ K\Omega$ و $h_{fe} = ۵۰$ است. کمیتهای A_I، A_V، A_{V_s}، R_i و R_o را محاسبه نمایید.



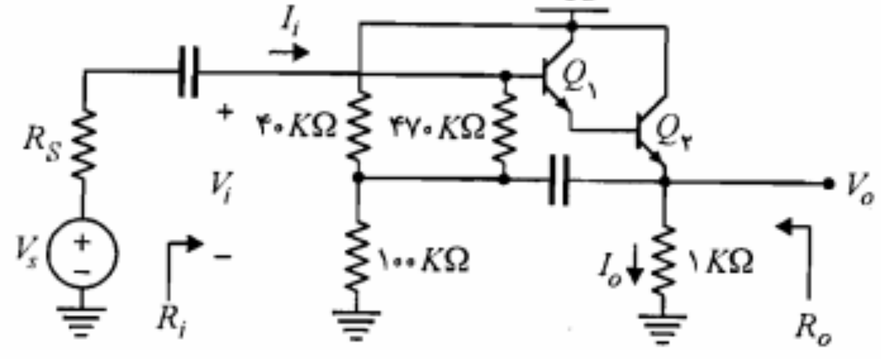
شکل م-۳۰

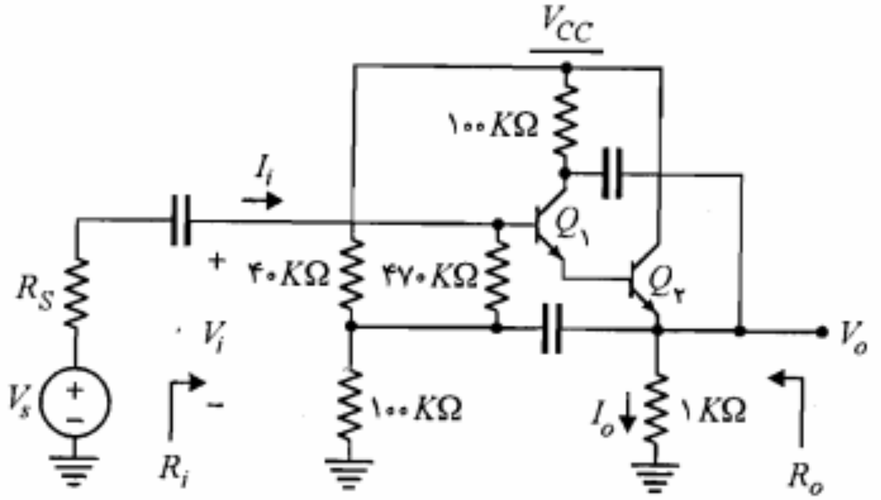
۳۱. شکل م-۳۱ یک **تقویت‌کننده تفاضلی** است. در این تقویت‌کننده Q_1 و Q_2 کاملاً مشابه‌اند و $h_{ie} = ۷۰۰\ \Omega$ و $h_{fe} = ۲۰۰$ است. مطلوب است محاسبه R_i و A_{V_s}.



شکل م-۳۱

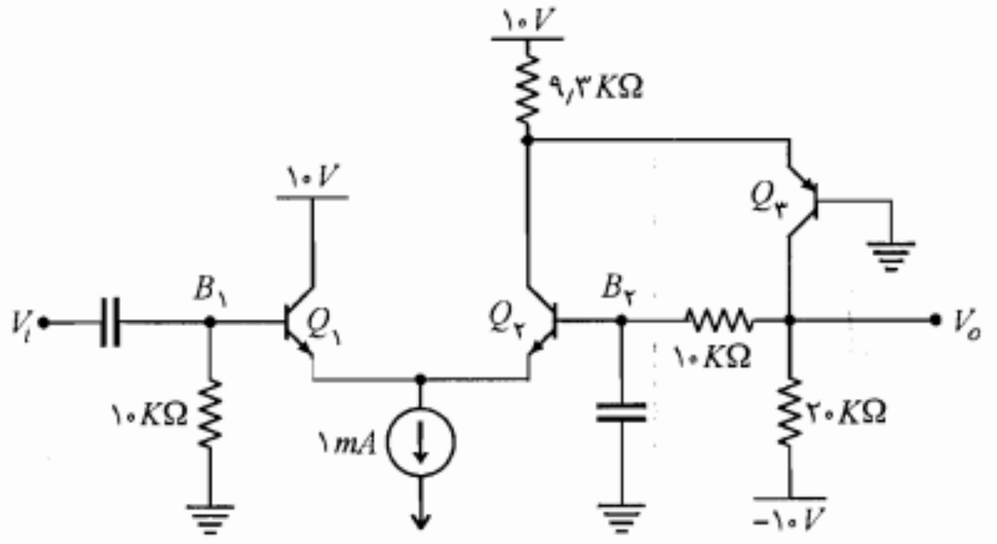
۳۲. در تقویت‌کننده‌های شکل م-۳۲، کمیتهای A_I، A_V، R_i و R_o را محاسبه نمایید. ترانزیستورها مشابه، $h_{oe}^{-1} = ۴۰\ K\Omega$، $h_{ie_2} = ۱\ K\Omega$ و $h_{fe} = ۱۰۰$ است.





شکل م-۳۲

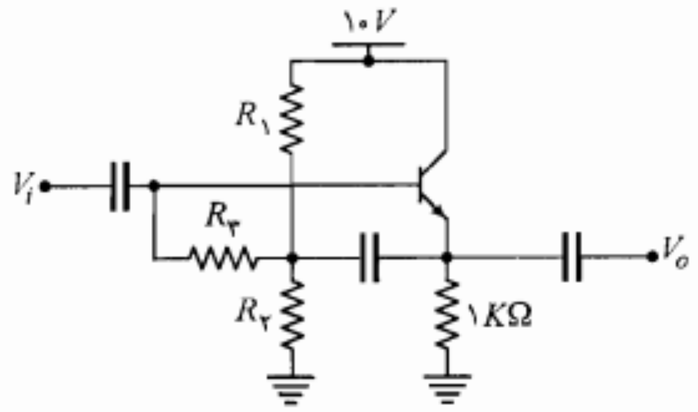
۳۳. با فرض $V_{BE} = ۰/۷\,V$ و $h_{fe} = ۱۰۰$ برای همه ترانزیستورها، ولتاژهای DC نقاط $B_۱$ و $B_۲$ را در شکل م-۳۳ به دست آورید. همچنین ولتاژ DC خروجی و بهره ولتاژ A_V را محاسبه نمایید.



شکل م-۳۳

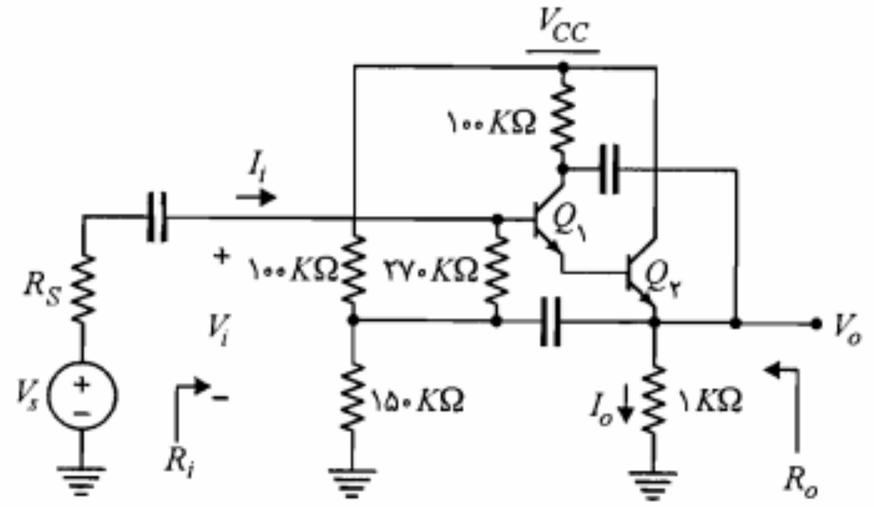
۳۴. در مدار شکل م-۳۴ مقاومتهای $R_۱$، $R_۲$ و $R_۳$ را طوری محاسبه نمایید که شرایط زیر به طور همزمان برقرار باشد.

- $V_{CEQ} = ۵\,V$ باشد.
- به ازای $h_{fe} = ۳۰۰$ مقاومت ورودی حداکثر شود.
- مدار از پایداری مطلوبی نسبت به تغییرات β برخوردار باشد.



شکل م-۳۴

۳۵. در مدار تقویت‌کننده کلکتور مشترک شکل م-۳۵ با فرض $h_{ie_۱} = ۱\,K\Omega$، $h_{oe}^{-۱} = ۴۰\,K\Omega$، $h_{fe} = ۱۰۰$، $A_{V_۱} = \frac{V_{e_۱}}{V_{b_۱}} = ۰/۹۶$ و $A_{V_۲} = \frac{V_{e_۲}}{V_{b_۲}} = ۰/۹۸$، مقدار دقیق R_i را محاسبه کنید و توضیح دهید از چه روشی و چگونه مقاومت ورودی تقویت‌کننده افزایش یافته است؟

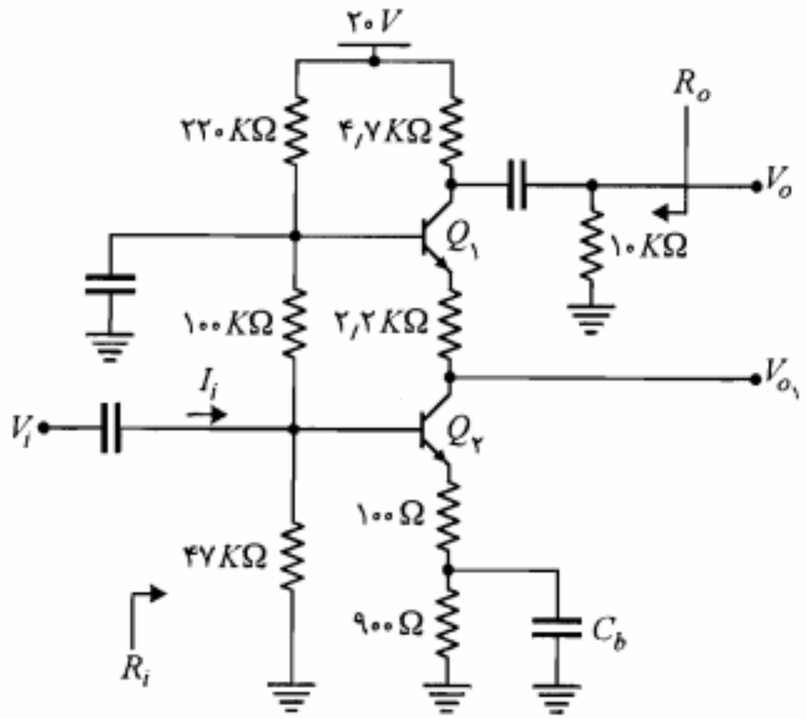


شکل م-۳۵

۳۶. در مدار تقویت‌کننده شکل م-۳۶ ترانزیستورها مشابه و β آنها بسیار بزرگ فرض می‌شود. با فرض $V_{CE}(sat) = ۰/۲\,V$، $V_{BE}(ON) = ۰/۷\,V$ و $h_{re} \cong h_{oe} \cong ۰$،

الف) مقادیر جریان I_{CQ} و ولتاژ V_{CEQ} را برای هر یک از ترانزیستورها به دست آورید.

ب) مقادیر کمیتهای A_V، $A_{V_۱} = \frac{V_{o_۱}}{V_i}$، A_I، R_i و R_o را محاسبه کنید.

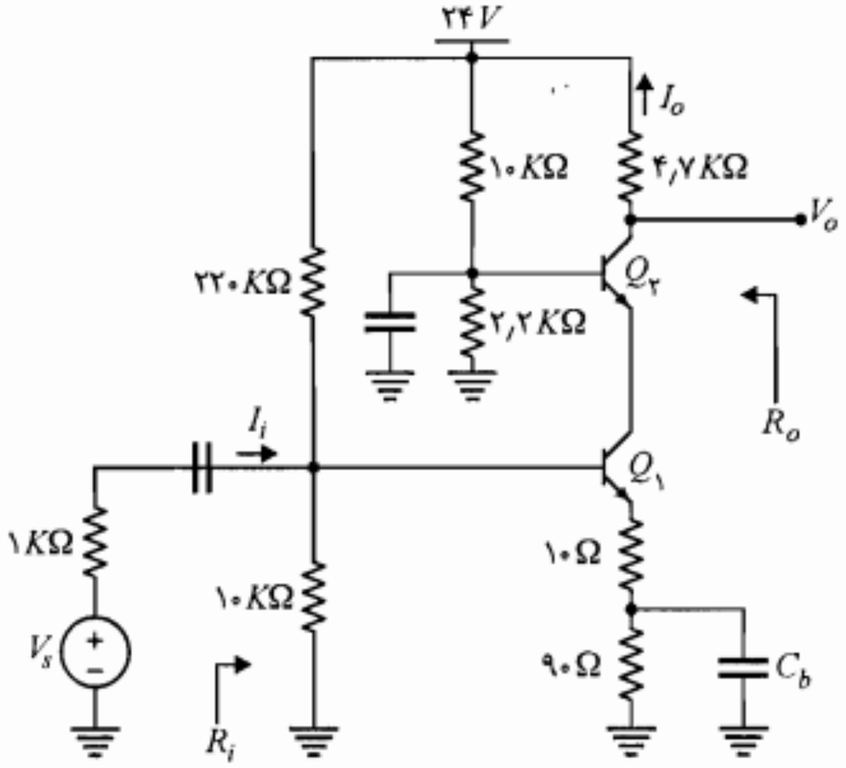


شکل م-۳۶

۳۷. در مدار تقویت‌کننده شکل م-۳۷، β ترانزیستورها بسیار بزرگ است.

الف) مختصات نقطه کار DC هر یک از ترانزیستورها را به دست آورید.

ب) مقادیر A_V، A_{V_s}، A_I، R_i و R_o را محاسبه نمایید.

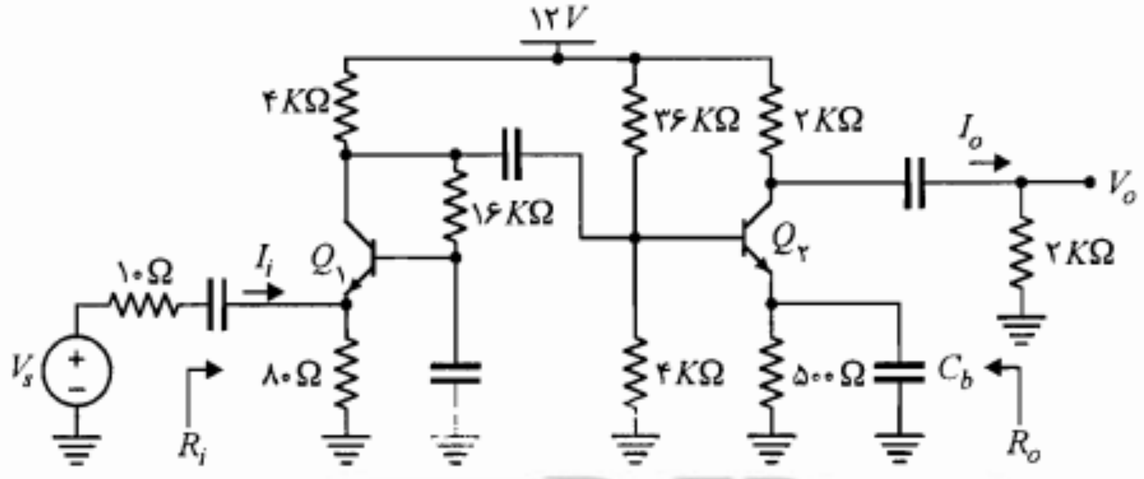


شکل م-۳۷

۳۸. در مدار تقویت‌کننده شکل م-۳۸ با فرض $h_{fe}=۵۰$ و $h_{oe}\cong h_{re}\cong ۰$ برای هر دو ترانزیستور،

الف) نقطه کار هر یک از ترانزیستورها را تعیین کنید.

ب) مقادیر R_i، A_V، A_{V_s}، A_I و R_o را محاسبه نمایید.



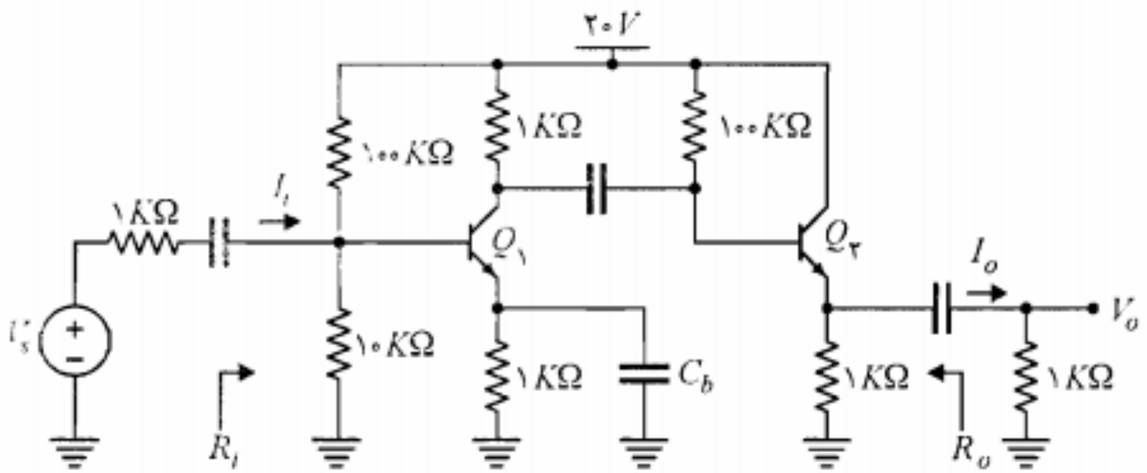
شکل م-۳۸

۳۹. در تقویت‌کننده شکل م-۳۹ ترانزیستورها مشابه‌اند. با فرض $h_{fe}=۱۰۰$

الف) مختصات نقطه کار DC ترانزیستورها را تعیین کنید.

ب) A_V، A_I، R_i و R_o را به دست آورید.

ج) حداکثر دامنه نوسان متقارن برای $V_{ce_۱}$ و $V_{ce_۲}$ را به دست آورده و از آنجا حداکثر دامنه نوسان متقارن ولتاژ ورودی V_s را محاسبه کنید.

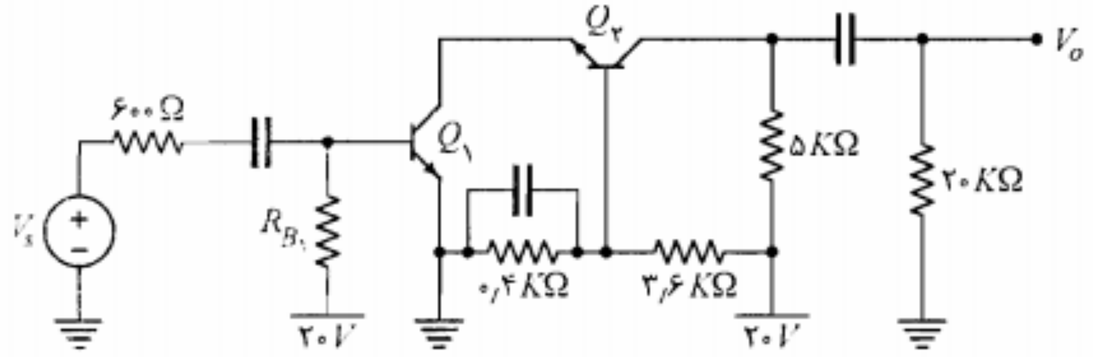


شکل م-۳۹

۴۰. در تقویت‌کننده شکل م-۴۰ ترانزیستورها مشابه، $h_{fe}=۱۰۰$ و $V_{CE}(sat)=۰٫۲\,V$ است.

الف) $R_{B_۱}$ را طوری تعیین کنید که دامنه نوسان متقارن ولتاژ خروجی $Q_۲$ حداکثر شود.

ب) با فرض $h_{oe}^{-۱}=۴۰\,K\Omega$ و $h_{re}=۰$، A_{V_s} را محاسبه کنید.

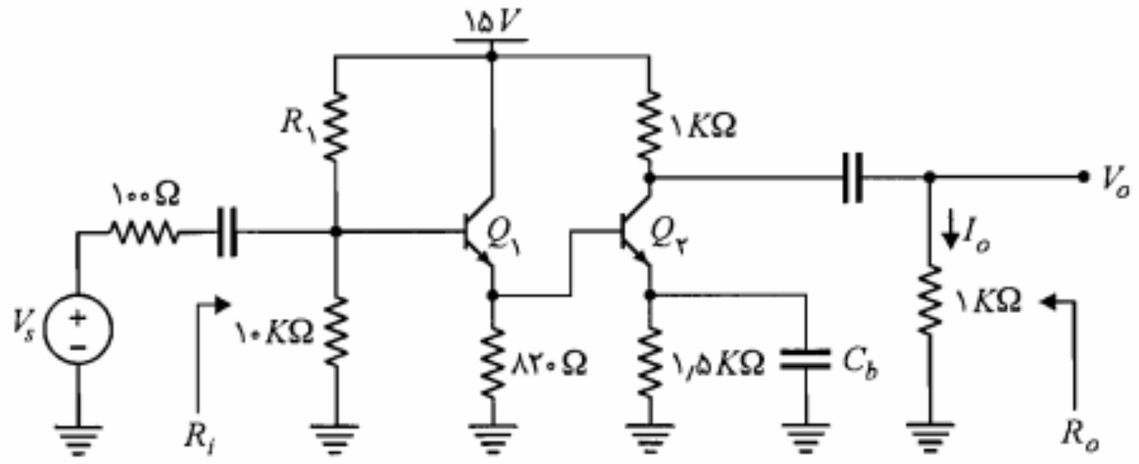


شکل م-۴۰

۴۱. در مدار شکل م-۴۱ با فرض $h_{oe}^{-۱}=۴۰\,K\Omega$، $h_{re}\cong ۰$، $h_{fe}=۵۰$ و $V_{CE}(sat)=۰٫۲\,V$

الف) مقاومت $R_۱$ را طوری تعیین کنید که دامنه نوسان متقارن ولتاژ خروجی حداکثر شود.

ب) با فرض $R_۱=۵٫۶\,K\Omega$ مقادیر کمیتهای A_V، A_I، R_i و R_o را به دست آورید.



شکل م-۴۱

۴۲. مسائل شماره ۶ و ۷ را با استفاده از مدل هیبرید π حل کنید.

۴۳. مسأله ۱۹ را با فرض $V_A = ۱۰۰$ و با استفاده از مدل هیبرید π حل کنید.

۴۴. مساله ۳۲ را با فرض $I_{C_۱} = I_{C_۲} = ۷/۵\,mA$، $\beta = ۲۰۰$ و با استفاده از مدل هیبرید π حل کنید.

۷

ترانزیستورهای اثر میدان

در این فصل به مطالعه یکی دیگر از عناصر الکترونیکی به نام **ترانزیستور اثر میدان** (*FET*)[1] می‌پردازیم. در این ترانزیستور مبنای کار بر کنترل جریان الکتریکی توسط یک میدان الکتریکی است. اصولاً در *FET* تنها یک نوع حامل بار الکتریکی (الکترون آزاد یا حفره) در ایجاد جریان دخالت دارد (در ترانزیستور پیوندی دوقطبی نه تنها حاملهای اکثریت بلکه حاملهای اقلیت نیز در جریان نقش دارند). از این رو *FET* را **ترانزیستور یک قطبی** نیز می‌نامند. به طور کلی این ترانزیستورها دو نوع هستند؛ نوع اول *FET* پیوندی یا *JFET*[2] و نوع دوم *MOSFET*[3] که به اختصار *MOS* نامیده می‌شود.

این ترانزیستورها عمدتاً در مدارهای مجتمع خصوصاً در تراشه‌های دیجیتال مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این تراشه‌ها غالباً هزاران *MOS* وجود دارند که نه تنها به عنوان عناصر فعال بلکه به جای مقاومت و خازن نیز به‌کار رفته‌اند. در مقایسه با بسیاری از تراشه‌های ترانزیستور پیوندی دوقطبی، مدارهای مجتمع ساخته شده با *MOS* از پیچیدگی بیشتر ولی در عین حال از هزینه و فضای کمتر و

1. Field Effect Transistor *2. Junction Field Effect Transistor*
3. Metal–Oxide–Semiconductor Field Effect Transistor