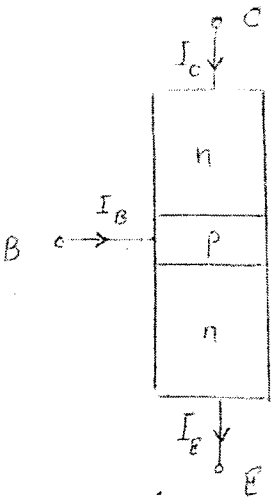
۷

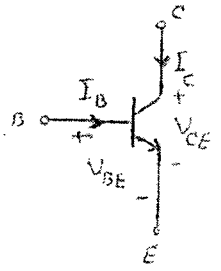
ترانزیستور BJT :



$$I_C = \beta I_B \longrightarrow \beta = \frac{I_C}{I_B}$$

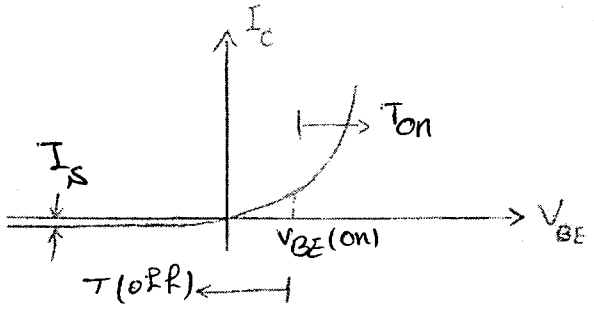
$$I_E = I_C + I_B = (\beta+1) I_B$$

$$\frac{I_C}{I_E} = \frac{\beta}{\beta+1} = \alpha \Rightarrow \beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$$

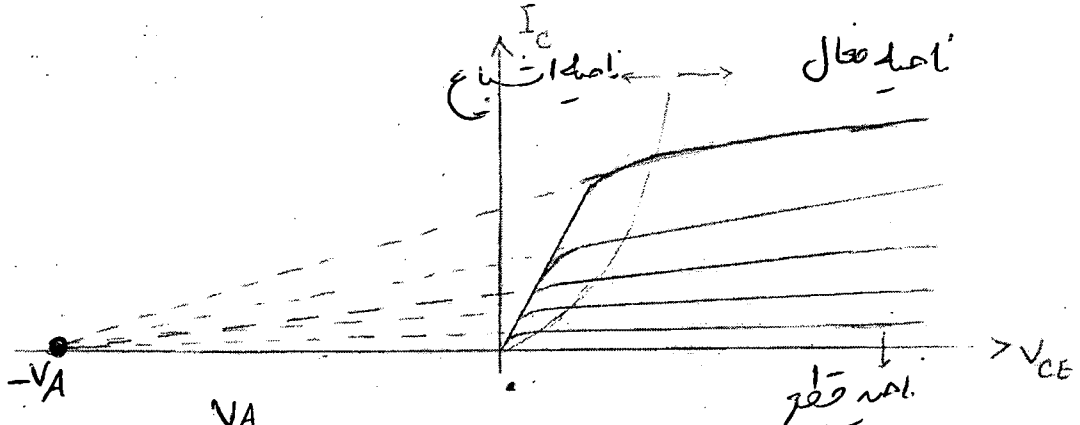


$$I_C = I_S \left(e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} - 1\right)\left(1 + \frac{V_{CE}}{V_A}\right)$$

$$\frac{V_{CE}}{V_A} \ll 1 \Rightarrow I_C = I_S \left(e^{V_{BE}/V_T} - 1\right)$$



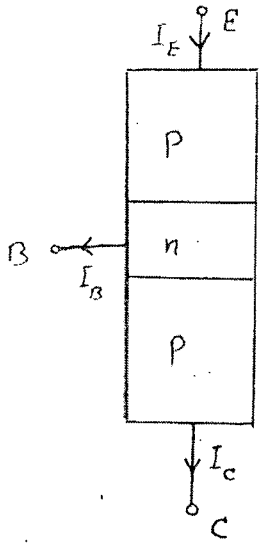
$$\begin{cases} T(on) \Rightarrow I_C \tilde{=} I_S e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} \\ T(off) \Rightarrow I = -I_S \end{cases}$$

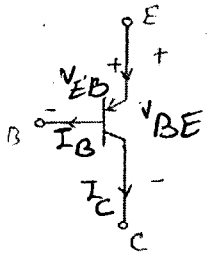


$$r_o = \frac{V_A}{I_{CQ}}$$

LearnElement.ir

توجه:



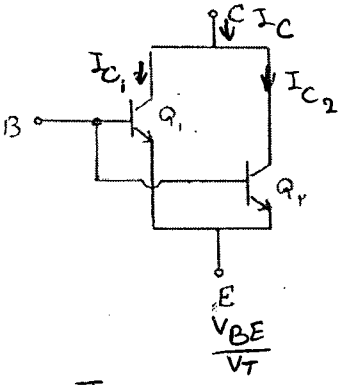


$I_c = \beta I_B$

$I_E = (\beta+1) I_B$

$V_{EB} = V_E - V_B > |V_{BE(on)}| = 0.7 \Rightarrow$ T(ON)

برق - ۸۷) در مدار شکل مقابل ترانزیستورها در همه پارامترها به جز β، با هم برابرند. با این شرایط β برای ترکیب موازی دو ترانزیستور کدام است؟



۱) $\frac{2\beta_1\beta_2}{\beta_1+\beta_2}$ ✓

۲) $\frac{\beta_1+\beta_2}{2}$

۳) $\frac{\beta_1\beta_2}{\beta_1+\beta_2}$

۴) $\frac{\beta_1^2+\beta_2^2}{\beta_1+\beta_2}$

$I_C \cong I_S e^{\frac{V_{BE}}{V_T}}$ ⎫

Q_1, Q_2 مشابه‌اند $\Rightarrow I_{S_1} = I_{S_2}$

به صورت موازی: $V_{BE_1} = V_{BE_2}$ ⎭ $\Rightarrow$

$I_{C_1} = I_{C_2}$

$I_C = I_{C_1} + I_{C_2}$ ⎫ $\rightarrow I_{C_1} = I_{C_2} = \frac{I_C}{2}$

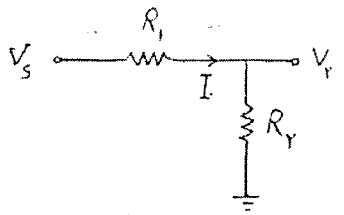
$$\beta_T = \frac{I_C}{I_B} = \frac{I_{C_1}+I_{C_2}}{I_{B_1}+I_{B_2}} = \frac{I_C}{\frac{I_{C_1}}{\beta_1}+\frac{I_{C_2}}{\beta_2}} = \frac{I_C}{\frac{I_C}{2\beta_1}+\frac{I_C}{2\beta_2}} = \frac{I_C}{\frac{(2\beta_2+2\beta_1)I_C}{4\beta_1\beta_2}}$$

$$\Rightarrow \beta_T = \frac{I_C}{\frac{2(\beta_1+\beta_2)I_C}{4\beta_1\beta_2}} = \frac{2\beta_1\beta_2}{\beta_1+\beta_2}$$

LearnElement.ir

۲

مقدمای بر چند عملیات مداری :

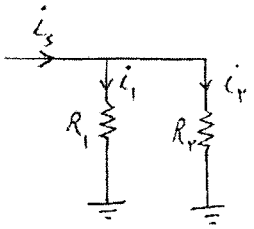


۱- تقسیم ولتاژ :

$$I = \frac{V_S}{R_1+R_2}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} V_1 = \dfrac{R_1}{R_1+R_2} \times V_S \\ V_2 = \dfrac{R_2}{R_1+R_2} V_S \end{cases} \xrightarrow{R_2 \gg R_1} V_2 \simeq V_S$$

۲- تقسیم جریان :



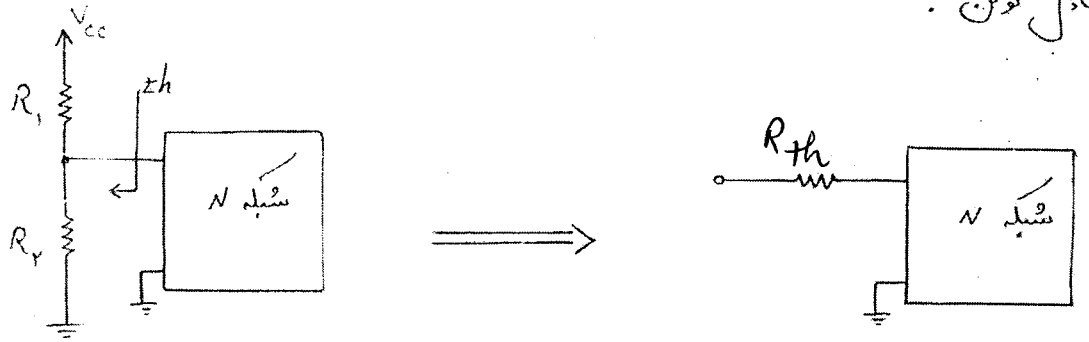
$$i_1 = \frac{\frac{1}{R_1}}{\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}} i_S \Rightarrow i_1 = \frac{R_2}{R_1+R_2} i_S$$

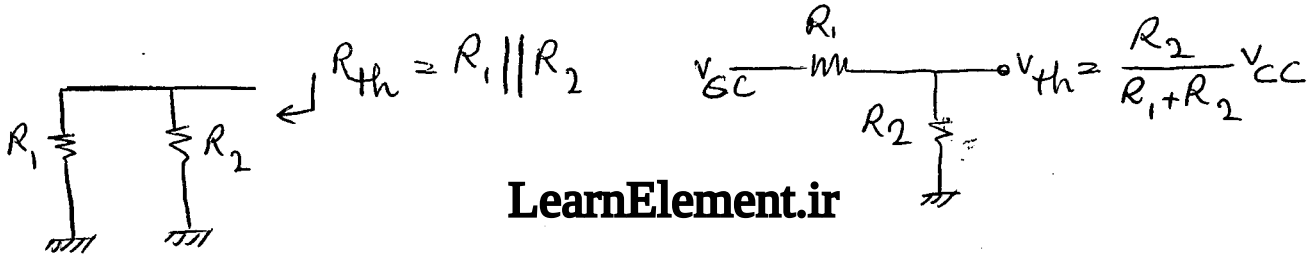
$$i_2 = \frac{R_1}{R_1+R_2} i_S$$

$R_1 = 0 \Rightarrow \boxed{i_2 = 0}$

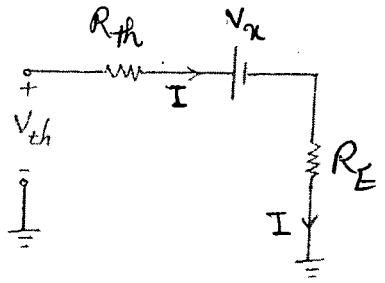
$R_1 \gg R_2 \Rightarrow \boxed{i_2 \simeq i_S}$

۳- مدار معادل تونن :



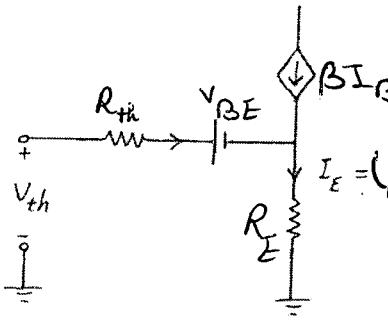


LearnElement.ir



$$KVL: \quad V_{th} = R_{th} I + R_E I + V_x$$

$$\Rightarrow \quad I = \frac{V_{th} - V_x}{R_{th} + R_E}$$

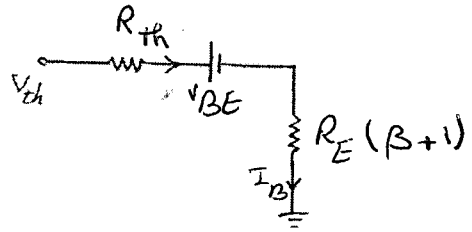


$I_E = (\beta+1) I_B$ KVL: $V_{th} = R_{th} I_B + V_{BE} + R_E I_E$

$I_E = (\beta+1) I_B \Rightarrow V_{th} = R_{th} I_B + V_{BE} + (\beta+1) I_B \cdot R_E$

$$\Rightarrow I_B = \frac{V_{th} - V_{BE}}{R_{th} + (\beta+1) R_E}$$

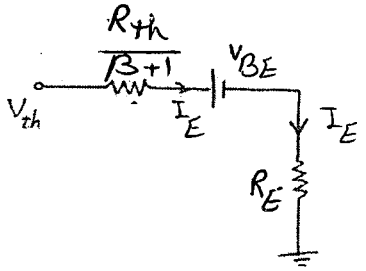
I_B برای حل



$$I_B = \frac{I_E}{\beta+1} \Rightarrow V_{th} = R_{th} \frac{I_E}{\beta+1} + V_{BE} + R_E I_E$$

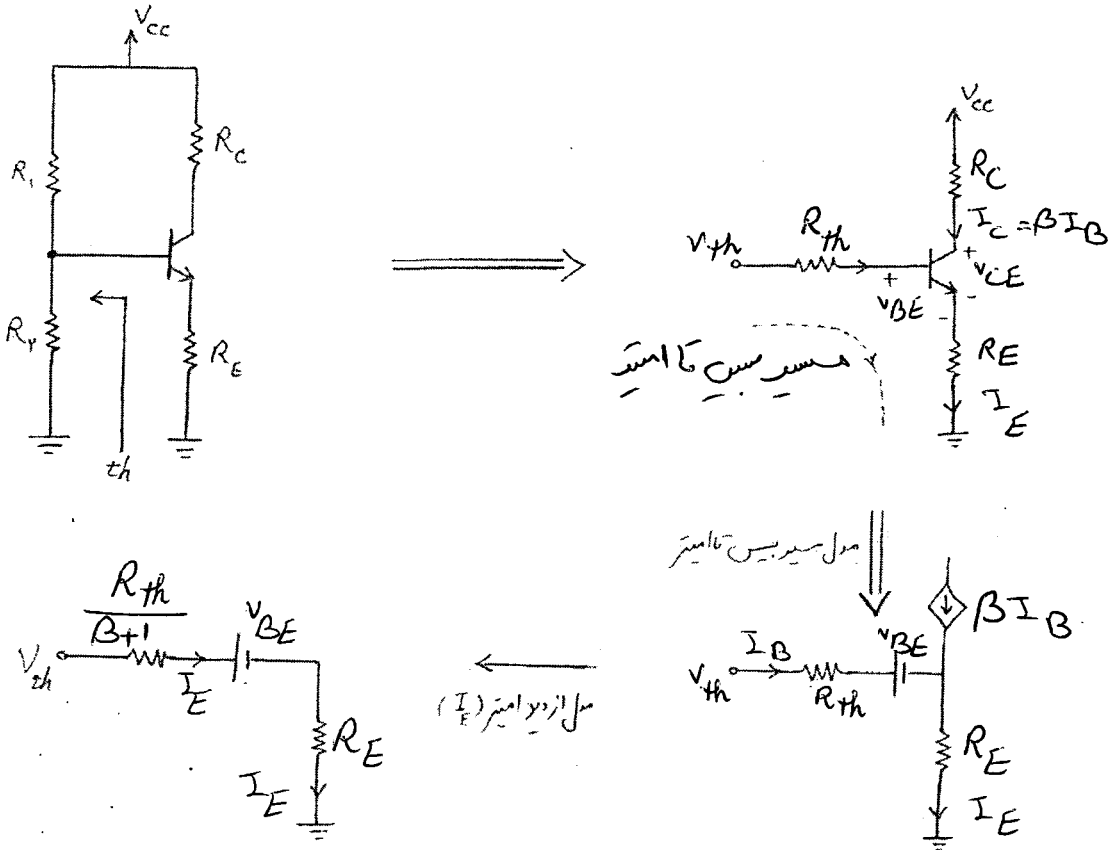
$$\Rightarrow I_E = \frac{V_{th} - V_{BE}}{R_E + \frac{R_{th}}{\beta+1}}$$

I_E برای حل



LearnElement.ir

تحلیل DC تقویت کننده های ترانزیستوری BJT :



$$\Rightarrow \quad I_C \approx I_E = \frac{V_{th} - V_{BE}}{R_E + \frac{R_{th}}{\beta+1}} \quad \Rightarrow \quad I_C = \frac{V_{th} - V_{BE}}{R_E + \frac{R_{th}}{\beta+1}}$$

$$\frac{R_{th}}{\beta} \ll R_E \quad \Rightarrow \quad I_C = \frac{V_{th} - V_{BE}}{R_E}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - \overbrace{(R_C + R_E)}^{R_{DC}} I_C \Rightarrow V_{CE} = V_{CC} - R_{DC} I_C$$

R_{DC} : مقاومتی است که در حالت DC از کلکتور تا امیتر وجود دارد.

نقطه کار Q :

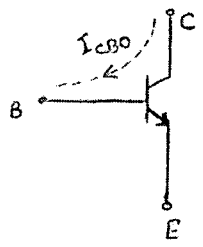
$$\begin{cases} I_{CQ} = \dfrac{V_{th} - V_{BE}}{R_E + \frac{R_{th}}{\beta}} \\ V_{CEQ} = V_{CC} - R_{DC} I_{CQ} \end{cases}$$

LearnElement.ir

نواحی کار ترانزیستور BJT :

۱) ناحیه قطع : هرگاه اختلاف ولتاژ ورودی بیس نسبت به امیتر کمتر از $V_{BE(ON)}$ باشد [برای ترانزیستورهای npn] ترانزیستور روشن نمی‌شود. در این حالت تنها جریان اشباع معکوس ترانزیستور برقرار است.

نکته ۱) در صورتی که امیتر ترانزیستور باز باشد و تنها جریان $I_C = I_{CBO}$ از کلکتور به بیس برقرار می‌باشد.



نکته ۲) جریان اشباع معکوس به ازای هر ۱۰ درجه افزایش دو برابر می‌شود:

$$I_{S(T_2)} = I_{S(T_1)} \times 2^{\left(\frac{T_2 - T_1}{10}\right)}$$

۲- ناحیه فعال :

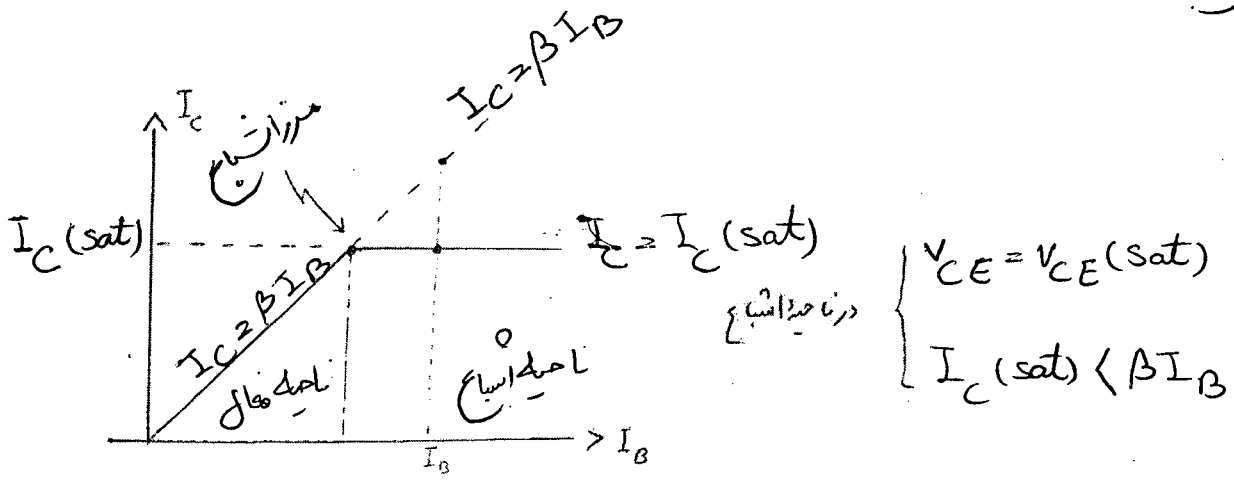
در این ناحیه، جریان‌های بیس، امیتر و کلکتور برقرار بوده و روابط زیر برقرار است

$$I_C = \beta I_B$$

$$I_E = (\beta + 1) I_B$$

LearnElement.ir

۳- ناحیه اشباع: در این ناحیه جریان کلکتور دیگر از جریان بیس تبعیت نمی‌کند و به دلیل ثابت ماندن اختلاف ولتاژ کلکتور-امیتر در حداقل مقدار خود [$V_{CE} = V_{CE}(sat)$] جریان کلکتور نیز مقدار ثابت $I_C(sat)$ را خواهد داشت.



در ناحیه اشباع:
$$\begin{cases} V_{CE} = V_{CE}(sat) \\ I_C(sat) < \beta I_B \end{cases}$$

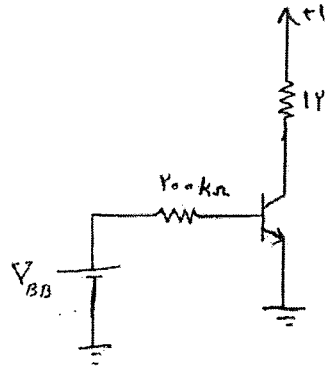
LearnElement.ir

۱۷

۱۶ کاردانی به کارشناسی - ۸۴) در مدار زیر، حداقل مقدار V_{BB} که باعث به اشباع رفتن ترانزیستور می‌شود، کدام است؟

$\beta = 50$ ، $V_{BE} = 0.7\,V$ ، $V_{CE(sat)} = 0\,V$

۱) ۴٫۷ V ۲) ۵ V ✓ ۳) ۴٫۷ V ۴) ۳٫۷ V



در اشباع با اشباع شدن $\beta I_B = I_{C(sat)}$

$$V_{CE(sat)} = 0 \Rightarrow I_{C(sat)} = \frac{15-0}{12^K} = 1.25\,mA$$

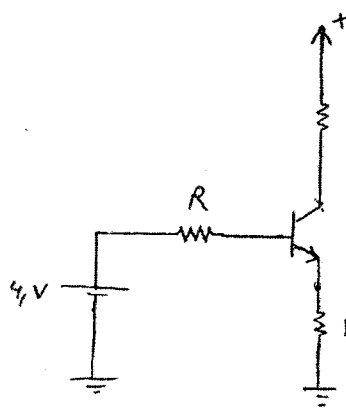
$$\rightarrow \text{در اشباع} \rightarrow I_B = \frac{I_{C(sat)}}{\beta} = \frac{1.25}{50}$$

$$\rightarrow V_{BB} = 200^K \times \frac{1.25}{50} + 0.7 = 5.7$$

---

۱۷ اتوماسیون - ۸۷) در مدار مقابل $V_{BE} = 0.7\,V$ ، $V_{CE(sat)} = 0$ ، $\beta = 100$ ، به ازای چه مقداری از R ترانزیستور در ناحیهٔ اشباع قرار می‌گیرد؟

۱) $R > 10\,k\Omega$ ۲) $R > 20\,k\Omega$ ۳) $R < 10\,k\Omega$ ۴) $R < 20\,k\Omega$ ✓



هرچقدر جریان I_C بیشتر شود ولتاژ V_{CE} کمتر می‌شود یعنی ترانزیستور راحت‌تر اشباع می‌شود و چون I_B با I_C رابطه دارد I_B را باید زیاد شود این یعنی هرچقدر R_B کمتر شود I_B بیشتر و درنتیجه I_C بیشتر می‌شود.

$$V_{CE(sat)} = 0 \rightarrow I_{C(sat)} = \frac{10-0}{2} = 5\,mA$$

$$I_B = \frac{I_{C(sat)}}{\beta} = \frac{5}{100}$$

$$V_E = 5^{mA} \times 1^{k\Omega} = 5^V \rightarrow V_B = 5 + 0.7 = 5.7^V$$

$$R_{(max)} = \frac{0.7 - 5.7}{5} = 20\,k\Omega$$

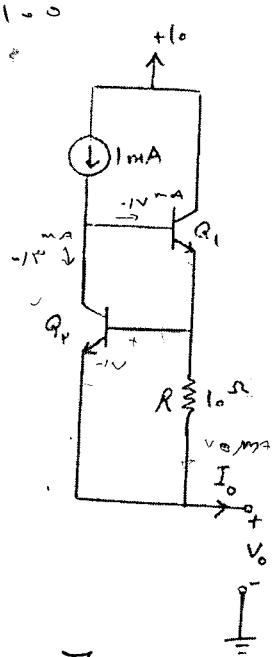
LearnElement.ir

۹)

اتوماسیون - ۸۷) در مدار شکل مقابل با فرض ترانزیستورهای مشابه، جریان اتصال کوتاه خروجی به کدام گزینه نزدیک‌تر است؟

۱) ۰ ۲) ۱ mA ۳) ۷۰ mA ۴) ۱۰۰ mA

$\beta = 100$



$\beta = 100$
$V_{BE} = 0.7\ V$

I_{B_2} رو حساب کنم بتوان از جریان صرف نظر کنم؟

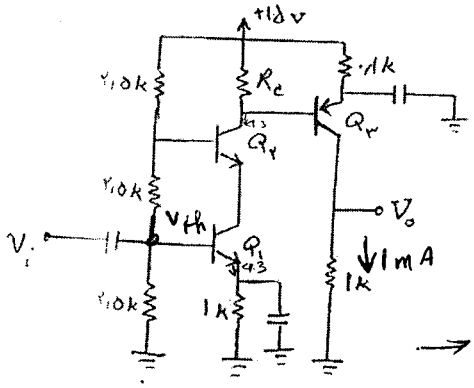
$$I_{10\Omega} = \frac{0.7}{0.01k} = 70mA \rightarrow I_{C_1} = 70mA \rightarrow I_{B_1} = \frac{70mA}{\beta=100} = 0.7mA$$

$$\rightarrow I_{C_2} = 1 - 0.7 = 0.3mA \rightarrow I_o = I_{C_2} + I_{10\Omega} \simeq 70mA$$

تمرین: شکل فوق را با $R = 5\Omega$ دوباره حل کنید

برق - آزاد ۸۹) در مدار شکل زیر برای همهٔ ترانزیستورها $\beta = 200$ و $V_{BE} = 0.7\ V$ است. R_C چقدر باشد تا سطح ولتاژ dc خروجی V_o ثابت شود

۱) ۹۸۰Ω ۲) ۱۴۹۰Ω ۳) با اطلاعات موجود R_C را نمی‌توان تعیین کرد ۴) ۲۲۰Ω



$$V_{th} = 15 \times \frac{2.5}{7.5 + (2.5 + 2.5 + 2.5)} = 5^V$$

$$\rightarrow I_{C_1} = \frac{V_{th} - V_{BE}}{1^k + \frac{R_{th}}{\beta}} \simeq 4.3^{mA}$$

$$V_o = 7^V \Rightarrow I_{C_3} = 7mA$$

$$\rightarrow R_C \times 4.3^{mA} = 0.7 + 0.1^k \times 7^{mA} \rightarrow R_C = \frac{1.4}{4.3mA} = 320\Omega$$

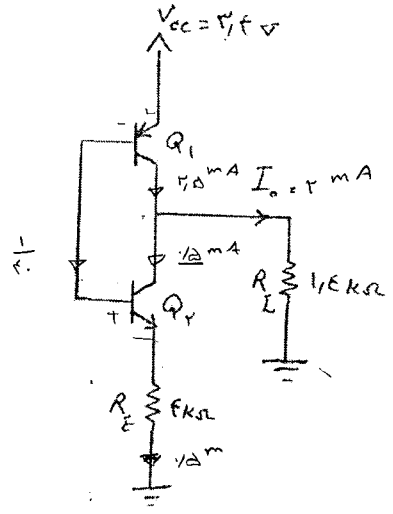
LearnElement.ir

۱۷

اتوماسیون-۸۶) در مدار شکل زیر مقدار جریان خروجی I_o تقریباً برابر است با:

$\beta_1 = 100$ ، $\beta_2 = 20$ ، $|V_{BE(on)}| = 0.7\,V$ ، $|V_{CE(sat)}| = 0.2\,V$

۱) ۰ ۲) ۰/۱۵ mA ۳) ۲/۵ mA ۴) ۲ mA ✓



حل: گزینه ۴ صحیح است.

$$I_{E_2} = \frac{V_{E_2}}{R_E} = \frac{3.4 - 1.4}{4k} = 0.5\,mA \simeq I_{C_2}$$

$$I_{B_1} = I_{B_2} = \frac{I_{E_2}}{\beta_2}$$

$$I_{C_1} = \beta_1 I_{B_1} = \frac{\beta_1}{\beta_2} I_{E_2} = \frac{100}{20} \times \left(\frac{1}{2}\right) = 2.5\,mA$$

pnp ← $V_{EC} > 0$

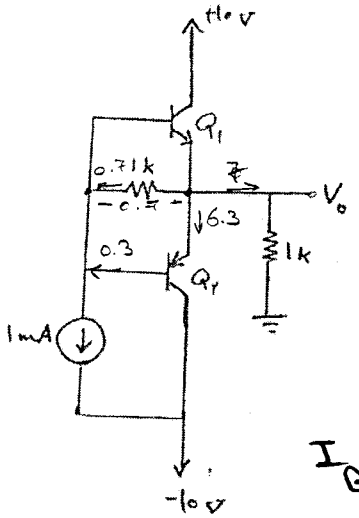
npn ← $V_{CE} > 0$

$$I_o = I_{C_1} - I_{C_2} = 2.5 - 0.5 = 2\,mA$$

برق-۷۷) در مدار زیر مقدار $|V_o|$ به کدام گزینه نزدیک‌تر است؟

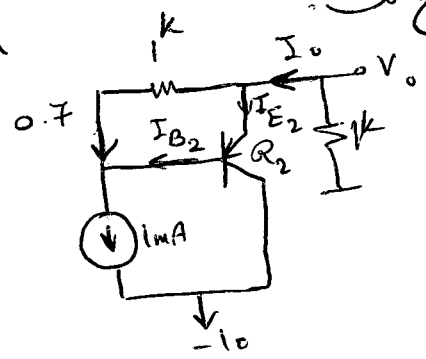
$\beta = 20$ ، $|V_{CE(sat)}| = 0.2\,V$
$|V_{BE}| = 0.7\,V$

۱) ۹/۸ V ۲) ۰/۷ V ۳) ۱ V ۴) ۷ V ✓



Q_1: off
Q_2: on

حل: گزینه ۴ صحیح است.



$$I_{B_2} = 0.3\,mA$$

$$I_{E_2} = (\beta + 1) I_{B_2} = 21 \times 0.3 = 6.3\,mA$$

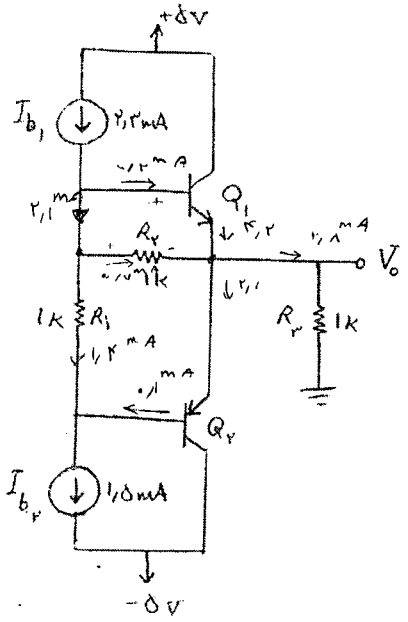
$$I_o = 6.3 + 0.7 = 7\,mA \rightarrow V_o = -7\,mA \times 1^k = -7\,V$$

LearnElement.ir

اتوماسیون ۸۸-) در مدار شکل زیر مقدار $|V_o|$ برحسب ولت تقریباً چقدر است؟

$\beta = 20$ ، $|V_{CE(sat)}| = 0.2\,V$ ، $|V_{BE}| = 0.7\,V$

۱) ۱٫۵ ۲) ۲٫۸ ۳) ۳٫۵ ۴) ۴٫۸



$V_o = 2.8\,mA \times 1k = 2.8\,V$

تمرین: تست فوق را با فرض $I_{b_2} = 1\,mA$ حل کنید

$I_{R_1} = 0.5 - 1.5 = 1\,mA$

$V_{E_2} = 1 - 0.7 = 0.3 \rightarrow V_o = 0.3$

LearnElement.ir

برق-۸۹) مقدار جریان I_x در مدار شکل مقابل برحسب میلی آمپر (mA) کدام است؟

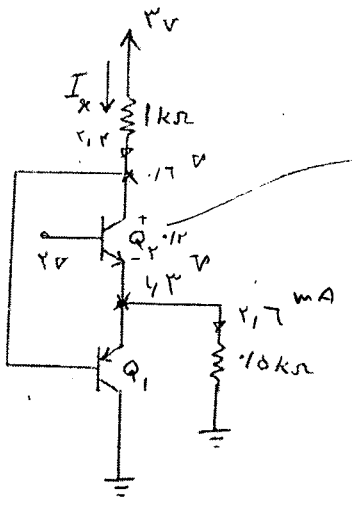
$|V_{BE(on)}| = 0.7\ V$ ، $|V_{CE(sat)}| = 0.2\ V$ ، $\beta = 100$

۱) ۳

۲) ۱,۷

۳) ۲,۶

۴) ۱,۵



$V_{CE} < 0 \Rightarrow$ ترانزیستور Q_2 وارد ناحیه اشباع می‌شود

در ناحیه اشباع ترانزیستور امیتر و کلکتور هم‌ولتاژ دارند.

$-3 + I_x + 0.2 + 1.3 = 0$

$I_x = 1.5$

$I_x = 1.5\ mA$

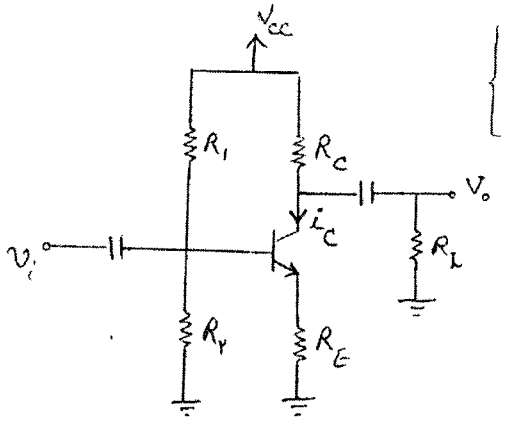
LearnElement.ir

۱۴

بررسی شرایط ماکزیمم سوئینگ تقویت کننده های BJT :

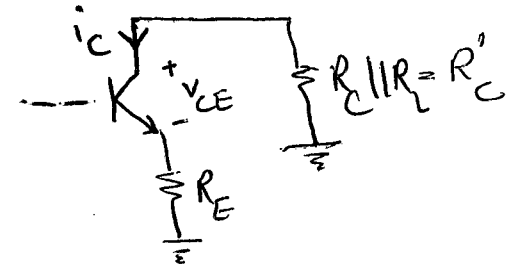
جریان کلکتور در حالت کلی هم دارای مولفهٔ ac و هم دارای مولفهٔ DC می باشد به عبارت دیگر همانطیکه سیگنال ac

به تقویت کننده اعمال شود هر ولتاژ و جریانی دارای مولفه‌های ac و DC خواهد بود :



$$\begin{cases} i_C = I_{CQ} + i_{c(ac)} \\ v_{CE} = V_{CE(Q)} + v_{CE(ac)} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} i_c = I_{CQ} - i_C \\ v_{ce} = V_{CEQ} - v_{CE} \end{cases}$$

مدار در حالت ac ⟹

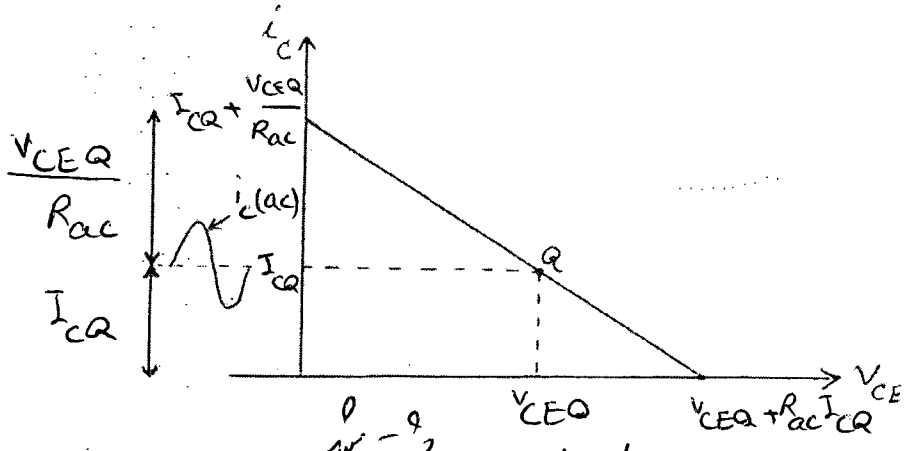


$$R_{DC} = R_C + R_E$$

$$R_{ac} = R_E + R'_C$$

$$v_{ce} = -(R_E + R'_C)\, i_c = -R_{ac}\, i_c$$

خط بار ac ⇒ $\boxed{V_{CE} - V_{CEQ} = -R_{ac}(i_C - I_{CQ})}$



جهت داشتن بهترین شرایط برای سوئینگ خروجی، بایستی نقطهٔ کار روی خط بار ac قرار داشته باشد :

$$V_{CEQ} - V_{CE(sat)} = R_{ac} I_{CQ} \Rightarrow V_{CC} - R_{DC} I_{CQ} - V_{CE(sat)} = R_{ac} I_{CQ}$$

$$\Rightarrow \boxed{I_{CQ} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_{DC} + R_{ac}}}$$

LearnElement.ir

انواع مسائل مکانیزم سرئینگ :

۱) در این حالت مطلوب مسأله محاسبه کمیت مجهول است به طوری که مدار در بهترین نقطه کار (وسط بار ac) قرار گیرد.

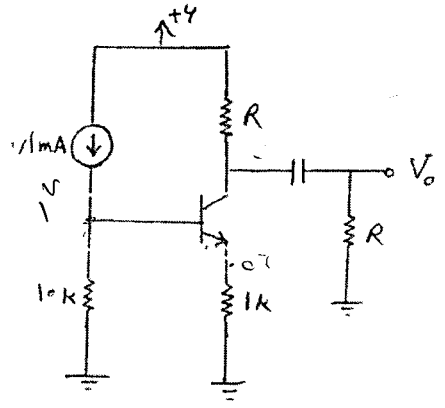
در این حالت با استفاده از رابطه‌ی $I_{CQ} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_{DC} + R_{ac}}$ مدار را در بهترین نقطه کار قرار داده و مقدار مجهول را بدست می‌آوریم.

برق ـ ۸۰) در مدار شکل زیر مقدار مقاومت R بر حسب $k\Omega$ چقدر باشد تا بیشینه سیگنال متناوب در خروجی مدار حاصل گردد؟

$(\beta = 200 \quad , \quad V_{BE} = 0.7\,V \quad , \quad V_{CE(sat)} = 0)$

۱) ۱۸ ۲) ۱۵

۳) ۱۲ ۴) ۹



حل: گزینه ۳ صحیح است.

$V_{th} = 0.1 \times 10 = 1\,V \rightarrow I_{CQ} = \frac{1 - 0.7}{1k + \frac{R_{th}}{\beta}} = 0.3\,mA$

بهترین شرایط نقطه کار $\Rightarrow I_{CQ} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_{DC} + R_{ac}}$

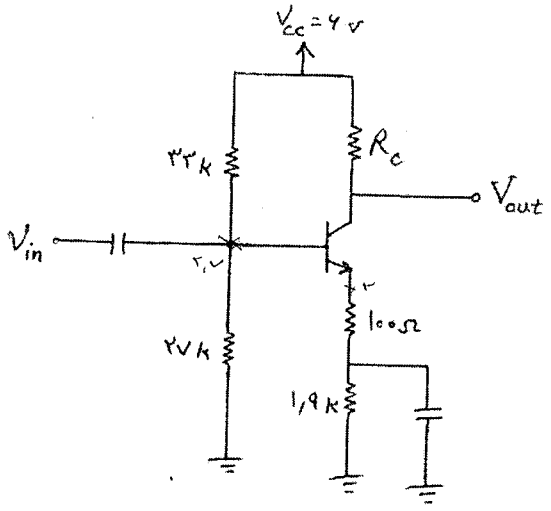
$\Rightarrow \quad 0.3 = \frac{6 - 0}{(R+1) + (\frac{R}{2} + 1)} \Rightarrow 1.5R + 2^{k} = 20k\Omega$

$\Rightarrow R = 12k\Omega$

LearnElement.ir

۱۵

اتوماسیون -۸۸) در مدار تقویت کننده شکل مقابل به ازای چه مقداری از مقاومت R_C ، دامنه سوئینگ متقارن ولتاژ خروجی V_{out} ماکزیمم خواهد بود؟



$\beta = \infty$

$V_{CE(sat)} = 0.2\,V$

$V_{BE(on)} = 0.7\,V$

۱) 1,9 kΩ

۲) 1,95 kΩ

۳) 2,9 kΩ

۴) 1,85 kΩ

$$V_{th} = 6 \times \frac{27}{27+33} = 2.7\,V \rightarrow I_{CQ} = \frac{V_{th}-V_{BE}}{R_{E_1}+R_{E_2}+\frac{R_{th}}{\beta}} = \frac{2.7-0.7}{1.9+0.1} = 1mA$$

$$\rightsquigarrow I_{CQ} = \frac{V_{CC}-V_{CE(sat)}}{R_{DC}+R_{ac}} \Rightarrow 1 = \frac{6-0.2}{(R_C+2^K)+(R_C+0.1)}$$

$$\rightsquigarrow 2R_C + 2.1 = 5.8 \Rightarrow R_C = 1.85\,k\Omega$$

$I_{CQ} = 1mA = \frac{7-0.7}{2R_C+2.1}$

$R_C = \frac{7-2.4}{2} = 1.85\,k\Omega$

LearnElement.ir

۱۷

۲) در این حالت مدار در بهترین نقطه کار [وسط خط بار ac] بایاس شده و مطلوب مسأله حداکثر تغییرات خروجی می‌باشد.

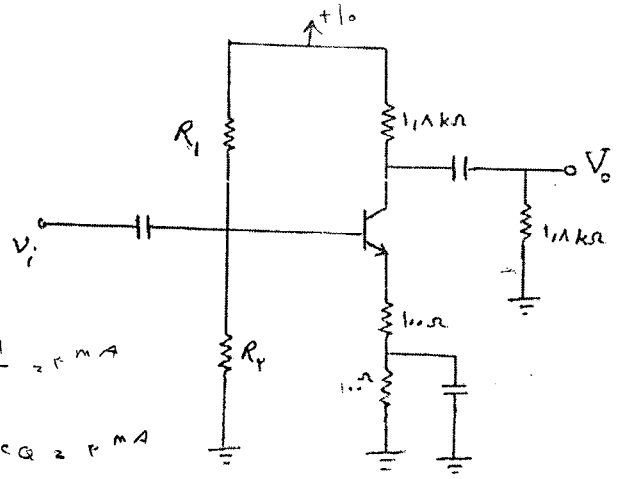
روش حل مسأله: ابتدا با استفاده از رابطه $I_{CQ} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_{DC} + R_{ac}}$ جریان نقطه کار را به دست می‌آوریم که همان $\hat{i}_{c(max)}$ می‌باشد. سپس با رسم خط بار ac و با استفاده از رابطه $\hat{i}_{c(max)}$ را به دست آورده و جواب مسأله حاصل می‌شود.

برق - ۸۱) مالتی‌پلیسم خروجی بدون اعوجاج (مالتی‌پلیسم سوئینگ) در بهترین نقطه کار کدام است؟

$V_{CE(sat)} = 1\ V$ ، $V_{BE(on)} = 0.7\ V$

۱) ۱۰٫۸ ولت (پیک تا پیک)
۲) ۶ ولت (پیک تا پیک)
۳) ۵٫۴ ولت (پیک تا پیک)
۴) ۳ ولت (پیک تا پیک)

حل) گزینه ۳ صحیح می‌باشد.



$I_{CQ} = \frac{10-1}{1+2} = 3\ mA$

$\hat{i}_c = I_{CQ} = 3\ mA$

$\hat{i}_{c(max)} = I_{CQ} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_{DC} + R_{ac}} = \frac{10-1}{(1.8+0.1+0.1) + (1.8 \| 1.8 + 0.1)} = 3mA$

$\hat{v}_o = -\hat{i}_c \cdot R_c'$

$\hat{v}_o = 3 \times 0.9 = 2.7\ V$

$V_o = -0.9 \times i_c$

$\hat{V}_{o(max)} = 0.9^{k} \hat{i}_{c(mA)}$

$\hat{V}_{o_{max}} = 0.9^{k} \times 3mA = 2.7V$

$V_{o(p-p)} = 2.7 \times 2 = 5.4\ V$

LearnElement.ir

برق – ۸۰) در مدار زیر R_1 و R_2 طوری بایاس شده‌اند که نقطهٔ کار در وسط خط بار ac تثبیت شده است.
ولتاژ کلکتور (V_c) در کدام محدوده بر حسب ولت تغییر می‌کند؟

$V_{CE(sat)} = 0$

$V_{BE(on)} = 0.7\,V$

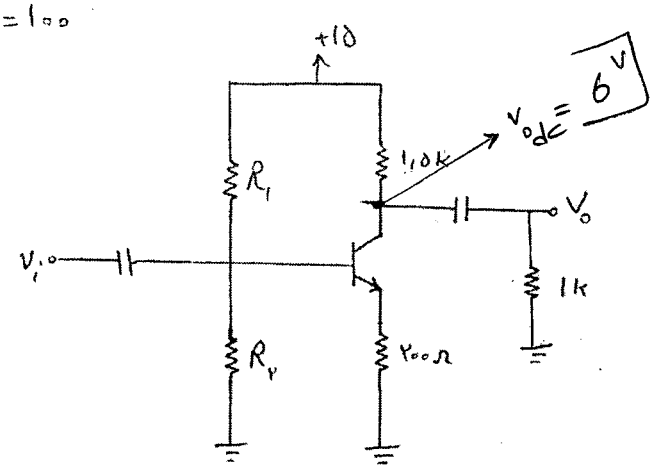
$\beta = 100$

۱) $0 \leq V_c \leq 15$

۲) $0 \leq V_c \leq 12$

۳) $2.4 \leq V_c \leq 9.6$

۴) $-3.4 \leq V_c \leq 3.4$



$$i_{c(max)} = I_{CQ} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_{DC} + R_{ac}} \longrightarrow = \frac{15}{(1.5+0.2)+(0.6+0.2)} = 6mA$$

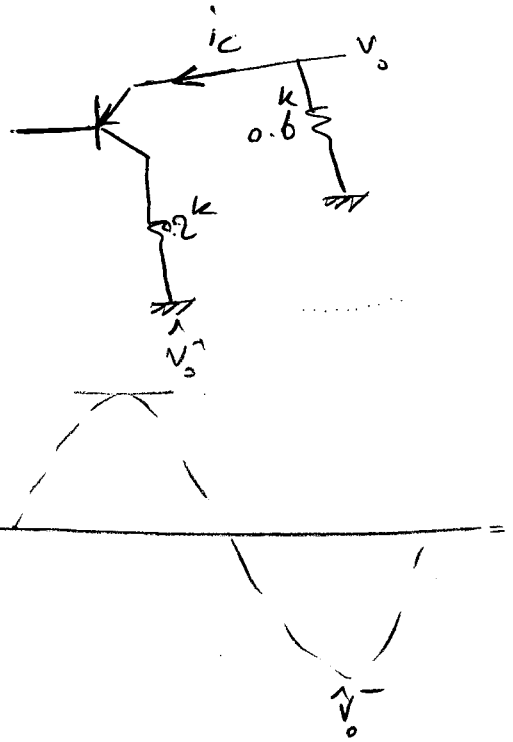
$$V_c(dc) = 15 - 1.5 \times 6 = 6V$$

$$\hat{v}_o(max) = -0.6\, i_{c(max)}$$

$$|\hat{V}_o(max)| = 0.6^{K} \times 6^{mA} = 3.6$$

$$6 - 3.6 \leq V_o \leq 6 + 3.6$$

$$2.4 \leq V_o \leq 9.6$$



مقدار V_c در حالت DC

مقدار نوسان در حالت ac

LearnElement.ir

۳ - در این حالت تقویت کننده الزاماً در بهترین نقطهٔ کار بایاس نشده است و مطلوب سأله: ماکزیمم تغییرات و یا ماکزیمم جریان خروجی است.

روش حل سأله:

ابتدا جریان نقطهٔ کار تقویت کننده را از بایاس مدار بدست می آوریم. سپس مینیمم $\frac{V_{CEQ}}{R_{ac}}$ را نیز محاسبه می کنیم و مینیمم (دو مقدار فوق حداکثر دامنه جریان کلکتور را مشخص می کند:

$$\hat{i}_{c(max)} = Min\left[I_{CQ}, \frac{V_{CEQ}}{R_{ac}}\right]$$

حال اگر رابطهٔ خروجی (مطلوب مسئله) جریان $i_{c(max)}$ را بدست می آوریم می توانیم ماکزیمم دامنه خروجی را محاسبه نمود.

تذکر: حداکثر دامنه جریان کلکتور در یک مدت و صفی را می توان از روابط زیر محاسبه نمود.

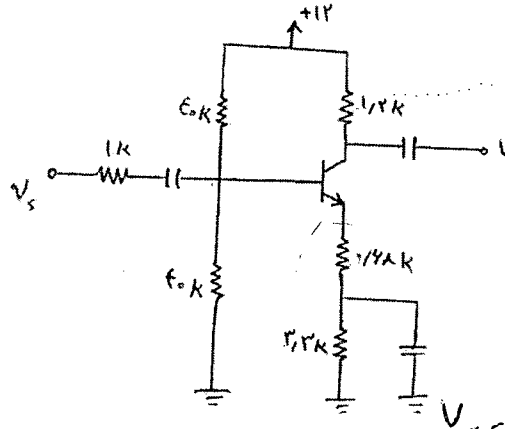
$$\hat{i}_{c(max)} = \frac{V_{CEQ}}{R_{ac}} \xrightarrow{\text{رابطهٔ دقیق تر}} \hat{i}_{c(max)} = \frac{V_{CEQ} - V_{CE(sat)}}{R_{ac}}$$

$$\hat{i}_{c(max)} = I_{CQ}$$

روی کلکتور: $V_o = -\hat{i}_c \cdot R'_c$

برق - ۷۹) در شکل مقابل حداکثر دامنهٔ سیگنال خروجی چند ولت است؟ ($V_{BE} = 0.7V$ ، $V_{CE(sat)} = 0$ ، $\beta = 100$)

۱) ۱٫۵ ۲) ۲٫۴ ۳) ۳٫۴ ۴) ۵٫۴



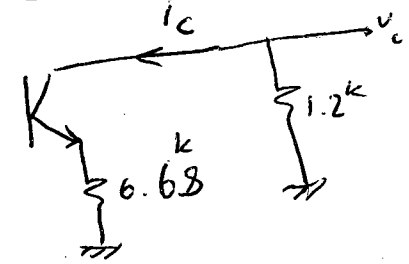
$$V_{th} = 6v \rightarrow I_{CQ} = \frac{V_{th} - V_{BE}}{R_{E_1} + R_{E_2} + \frac{R_{th}}{\beta}} = \frac{5.3}{3.98 + \frac{20}{100}} = 1.3$$

$$V_{CEQ} = 12 - (1.2 + 3.98) \times 1.3 = 5.2$$

$$\hat{i}_c = min\left(I_{CQ}, \frac{V_{CEQ}}{R_{ac}}\right)$$

$$R_{ac} = 1.88 \text{ k}\Omega \quad , \quad \frac{V_{CEQ}}{R_{ac}} = 2.8 \text{ mA} \quad , \quad I_{CQ} = 1.3 \text{ mA}$$

$$\hat{i}_{c(max)} = Min(1.3, 2.8) = 1.3 \text{ mA}$$



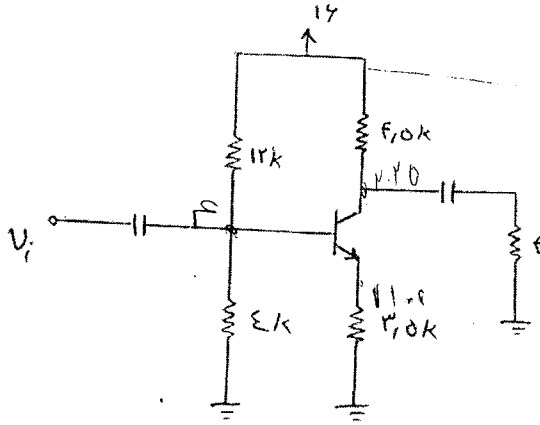
$$V_o = -1.2^{k} \times i_c \rightarrow \hat{V}_{o(max)} = 1.5 \text{ V}$$

LearnElement.ir

۱۹

کاردانی به کارشناسی - ۸۸) با توجه به شکل مقابل، پیک تا پیک ولتاژ بدون اعوجاج کلکتور - امیتر ترانزیستور ($V_{BE} = 0.7\ V$) برحسب ولت چقدر است؟

۱) ۵ ۲) ۵٫۷۵ ۳) ۱۰ ۴) ۱۱٫۵



حل: گزینه ۴ صحیح است.

$V_{th} = 9 \rightarrow I_{CQ} = \frac{9 - 0.5}{3.5} = 1mA = i_c$

$V_{CEQ} = 16 - (4.5 + 3.5) \times 1 = 8V$

$R_{ac} = 4.5 \| 4.5 + 3.5 = 5.75$

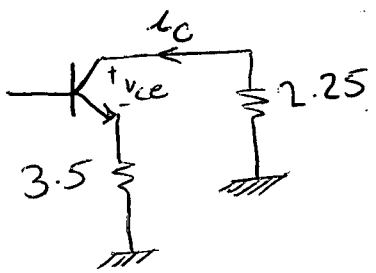
$\Rightarrow \frac{V_{CEQ}}{R_{ac}} = 1.9mA = i_{c+}$

$i_{c[max]} = Min[1, 1.9] = 1mA$

$V_{ce} = -(2.25 + 3.5) \times i_c = -5.75 \times i_c$

$\hat{V}_{ce(max)} = 5.75^{k} \times 1mA = 5.75V$

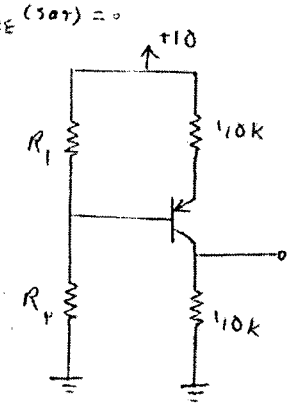
$\hat{V}_{ce}(p\text{-}p) = 11.5V$



برق - ۸۲) در شکل زیر نقطه کار $\begin{cases} |V_{CEQ}| = 6V \\ I_{CQ} = 3mA \end{cases}$ برقرار شده است. مطلوبست تعیین حداکثر سوئینگ متقارن ولتاژ خروجی V_o

$V_{CE(sat)} = 0$

۱) ۳V ۲) ۴٫۵V ۳) ۶V ۴) ۹V



$R_{ac} = 1.5 + 1.5 = 3^{k}$

$\rightsquigarrow \frac{V_{CEQ}}{R_{ac}} = \frac{6}{3} = 2mA$

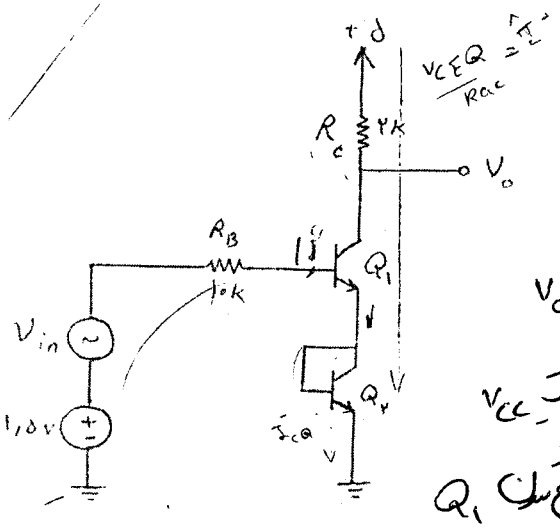
$\rightsquigarrow 2 \times 1.5 = 3V = V_{o\,max}$

LearnElement.ir

۲۰

برق - ۸۷) ماکزیمم دامنه سوئینگ ولتاژ خروجی مدار زیر برابر است با: ($\beta=100$, $V_{BE}=0.7V$, $V_{CE(sat)}=0.2V$)

۱) ۲٫۱ V ۲) ۲٫۷ ۳) ۱٫۶ ۴) ۱٫۵

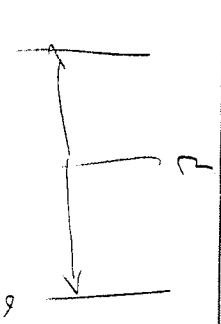


$I_B=\frac{1.5-1.9}{10}=\frac{1}{100}mA \rightarrow I_C=1mA$

$V_o=5-2\times1=3V$

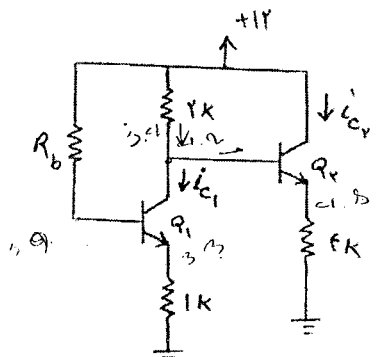
V_{CC} حدود $\hat{V}_o^+=5-3=2V$

Q_1 اشباع شدن $\hat{V}_o^-=3-(0.2+0.7)=2.1V$



برق - ۸۲) در شکل زیر $i_{C_2}=I_{CQ_2}=0.3mA$ است. که در آن جریان I_{CQ_2} جریان وسط خط بار ac ترانزیستور Q_2 است.

کدام گزینه به جواب نزدیکتر است؟ (ترانزیستورها شبیه‌اند) ($V_{CE(sat)}=0$, $V_{BE}=0.7V$, $\beta=100$)



۱) $R_b\approx240\ k\Omega$ ۲) $R_b\approx240\ k\Omega$

۳) $R_b\approx280\ k\Omega$ ۴) $R_b\approx340\ k\Omega$

$I_{CQ_2}=\frac{V_{CC}+V_{CE(sat)}}{R_{DC}+R_{ac}}=\frac{12}{4+9}=1.5mA \rightarrow i_{C_2}=1.5-0.3=1.2mA$

$V_{E_2}=9\times1.2=10.8 \rightarrow V_{B_2}=5.9 \rightarrow i_{C_1}=\frac{12-5.9}{2}=3.3mA$

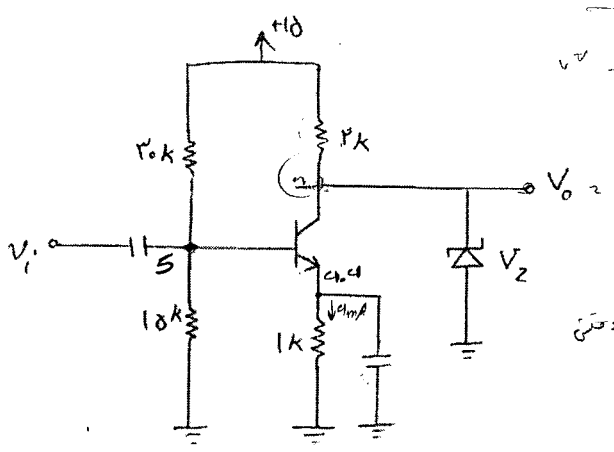
$V_{E_1}=3.3\times1=3.3V \rightarrow V_{B_1}=3.9V$

$\frac{12-3.9}{R_b}=\frac{3.3}{300} \rightarrow i_b=\frac{3.3}{}$

LearnElement.ir

مثال ۸۶- در شکل زیر اگر موج خروجی به صورت $v_o(t) = V_m \sin(\omega t)$ باشد. مطلوبست تعیین حداکثر دامنه نوسانات متقارن خروجی (V_m):

($V_Z = 9V$ ، $V_{BE} = 0.7$ ، $\beta = 100$)



۱) $V_m = 2V$

۲) $V_m = 3V$

۳) $V_m = 1.5V$

۴) $V_m = 1V$

$V_{th} = 15 \times \frac{15}{15+30} = 5V \rightarrow I_{CQ} = \frac{5-0.6}{1+\frac{10}{100}} = \frac{4.4}{1.1} = 4mA = \hat{i}_c^-$

$V_{CEQ} = 15 - 3\times 4 = 3V$
$R_{ac} = 2k$
$\rightarrow \frac{V_{CEQ}}{R_{ac}} = 1.5mA = \hat{i}_c^+$

$v_o = -2 i_c \rightarrow \begin{cases} \hat{v}_o^+ = 2 \times \hat{i}_c^- = 8 \\ \hat{v}_o^- = 2 \times \hat{i}_c^+ = 3V \end{cases}$ → سپس این دو را مانند روابط حل کنید

حل در صورت

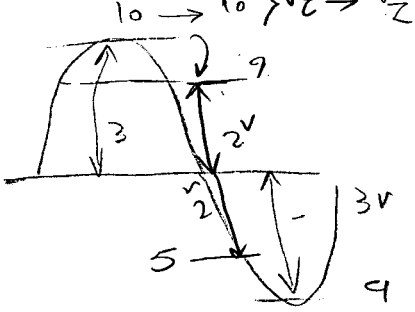
$i_{max} = \min\left[I_{CQ}, \frac{V_{CEQ}}{R_a}\right]$

$10V \rightarrow 10 > V_Z \rightarrow V_Z = on \rightarrow V_o = 9V$

حل وقتی $10V$ شود دیودزنر روشن

$9 - 7 = 2V$ می شود $V_o = 9V$

$V_{o_{dc}} = 7V$



LearnElement.ir

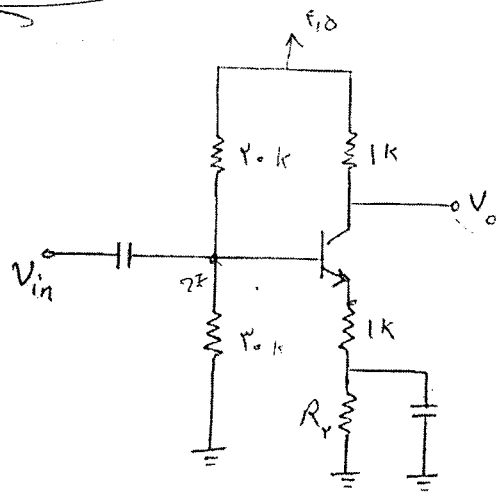
۲۲

برق - ۸۵) در شکل مقابل میزان R_2 را طوری تعیین کنید که دامنه سوئینگ متقی خروجی حدود ۱۲ باشد.

$\beta = h_{fe}$ = خیلی بزرگ

$V_{CE(sat)} = 0.2\ V$

$\hat{v}_o = -\hat{i}_c \cdot R_{ac}$



$R_2 = 1\ k\Omega$ (1

$R_2 = 2\ k\Omega$ (2

$R_2 = 0.4\ k\Omega$ (3

$R_2 = 5.6\ k\Omega$ (4

$$V_{th} = 4.5 \times \frac{30}{30+20} = 2.7 \longrightarrow I_{CQ} = \frac{2.7-0.7}{1^k + R_2} = \hat{i}_c = \frac{2}{1+R_2}$$

$$V_{CEQ} = 4.5 - (2+R_2) \times \frac{2}{1+R_2} = \frac{2.5R_2 + 0.5}{1+R_2}$$

$$R_{ac} = 2^k$$

$$\longrightarrow \frac{V_{CEQ}}{R_{ac}} = \frac{2.5R_2 + 0.5}{2(1+R_2)}$$

$$= \hat{i}_c^+$$

$$V_o = -1^k \times i_c$$

$$V_o = +1^k \times \hat{i}_c^+ \longrightarrow$$

$$\hat{i}_c^+ = \frac{V_{CEQ} - V_{CE(sat)}}{R_{ac}}$$

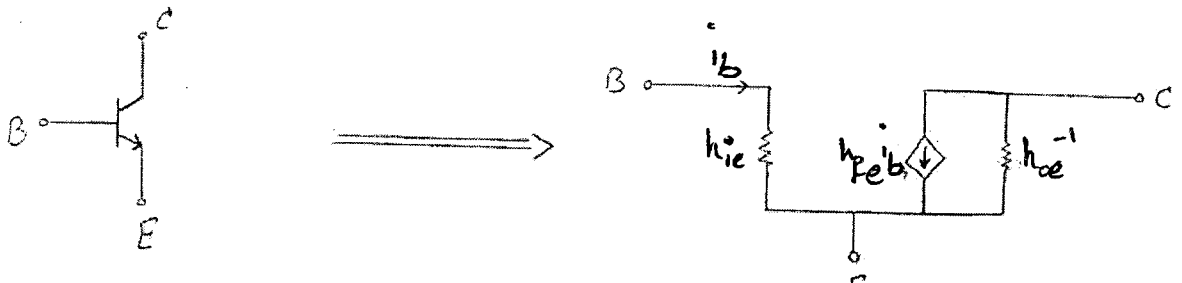
$$\longrightarrow 1 = \frac{2.5R_2 + 0.5}{2(1+R_2)} \longrightarrow \boxed{R_2 = 5.6\ k\Omega}$$

$$\frac{V_{CEQ} - V_{CEsat}}{2(1+R_2)} = \frac{\frac{2.5R_2 + 0.5}{1+R_2} - 0.2}{2(1+R_2)} = ?$$

LearnElement.ir

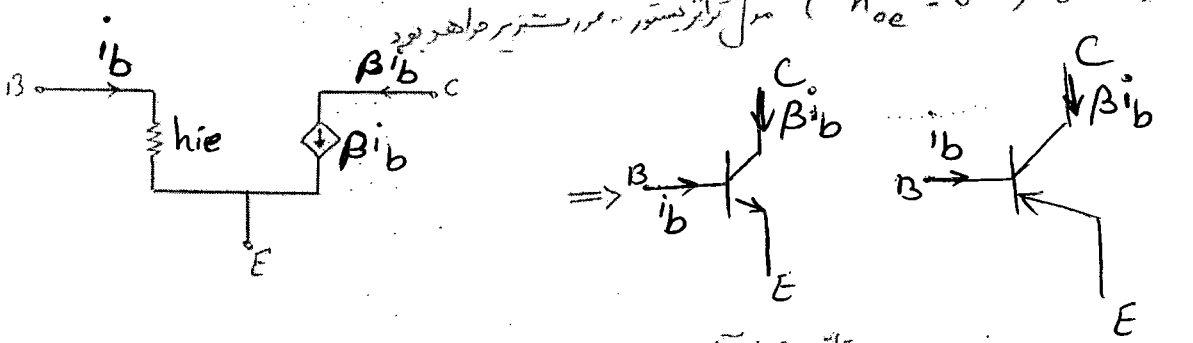
تحلیل ac تقویت کننده‌های ترانزیستوری (BJT) :

الف) مدل H : مدار معادل ac یک ترانزیستور BJT در مدل امیتر مشترک بطق پارامترهای h به صورت زیر است:



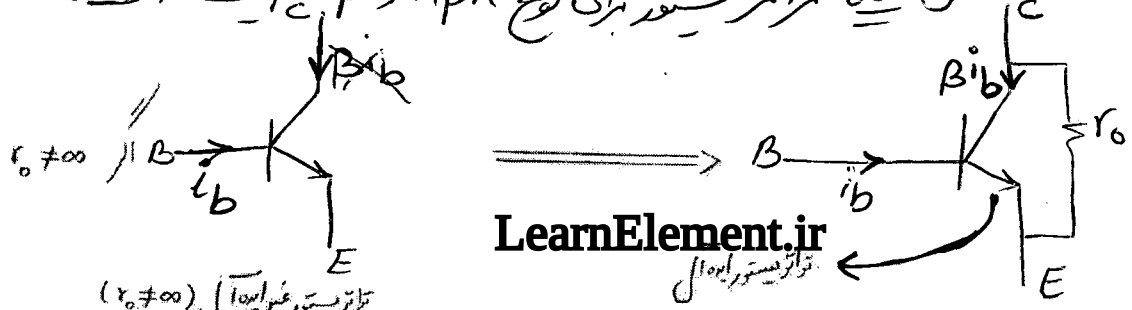
$$\begin{cases} h_{ie} = \dfrac{V_T}{I_{BQ}} = \dfrac{\beta V_T}{I_{CQ}} = \beta r_e \rightarrow r_e = \dfrac{h_{ie}}{\beta} = \boxed{\dfrac{V_T}{I_C}} \\ h_{fe} = \boxed{\beta} \\ h_{oe}^{-1} = \dfrac{V_A}{I_{CQ}} = \boxed{r_o} \end{cases}$$

اگر $r_o = \infty$ ($h_{oe} = 0$) مدل ترانزیستور به صورت زیر خواهد بود



« ترانزیستور ایده‌آل »
($r_o = \infty$)

توجه: مدل ac ترانزیستور برای نوع npn و pnp یکسان است.

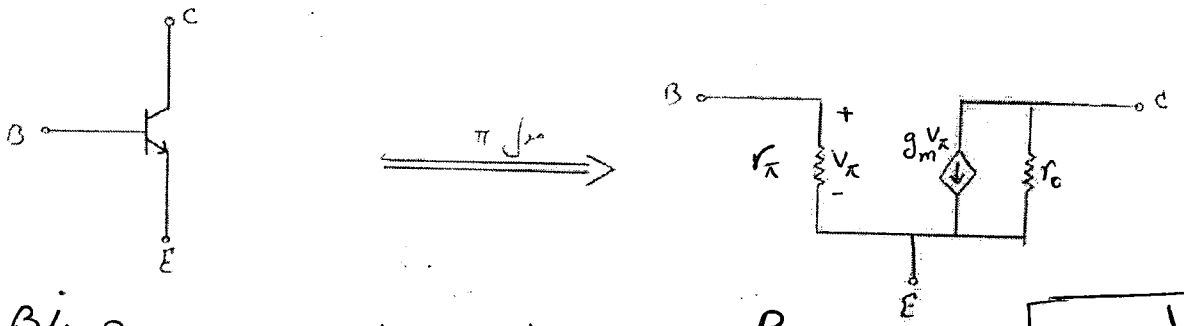


ترانزیستور غیرایده‌آل ($r_o \neq \infty$)

ترانزیستور ایده‌آل

LearnElement.ir

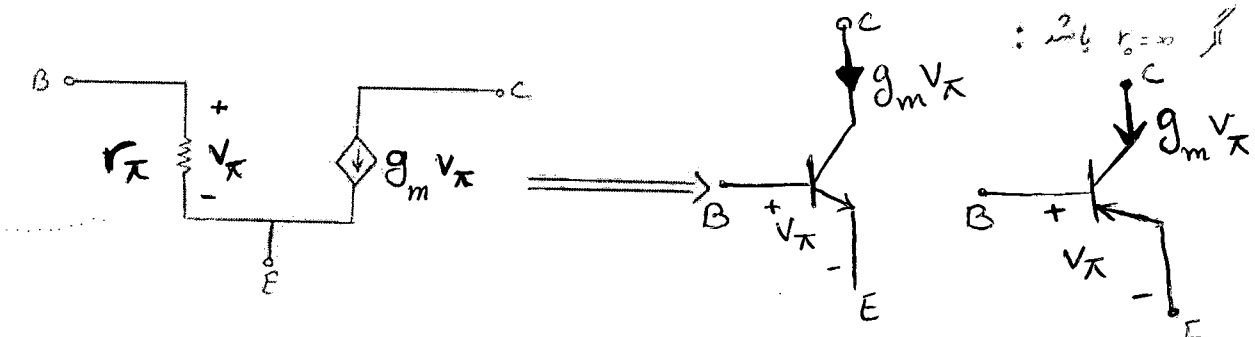
ب) مدل π : مدار معادل ac یک ترانزیستور BJT مبتنی بر پارامترهای مدل π به صورت زیر است .

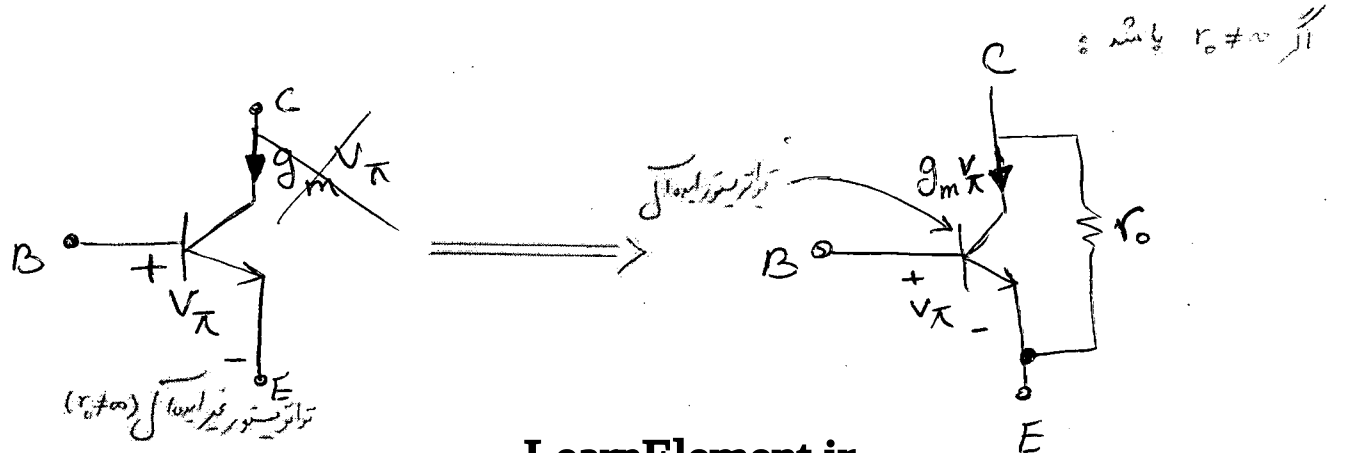


$$\left.\begin{aligned} g_m V_\pi &= \beta i_b \\ V_\pi &= h_{ie} \cdot i_b \end{aligned}\right\} \longrightarrow g_m [h_{ie} \cdot i_b] = \beta i_b \Rightarrow g_m = \frac{\beta}{h_{ie}} = \frac{1}{re} \Rightarrow \boxed{g_m = \frac{1}{re}}$$

$$re = 25\,\Omega = \frac{1}{40}\,k\Omega$$

$$g_m = 10\,\frac{mA}{V} \longrightarrow re = 0.1\,k\Omega = 100\,\Omega$$

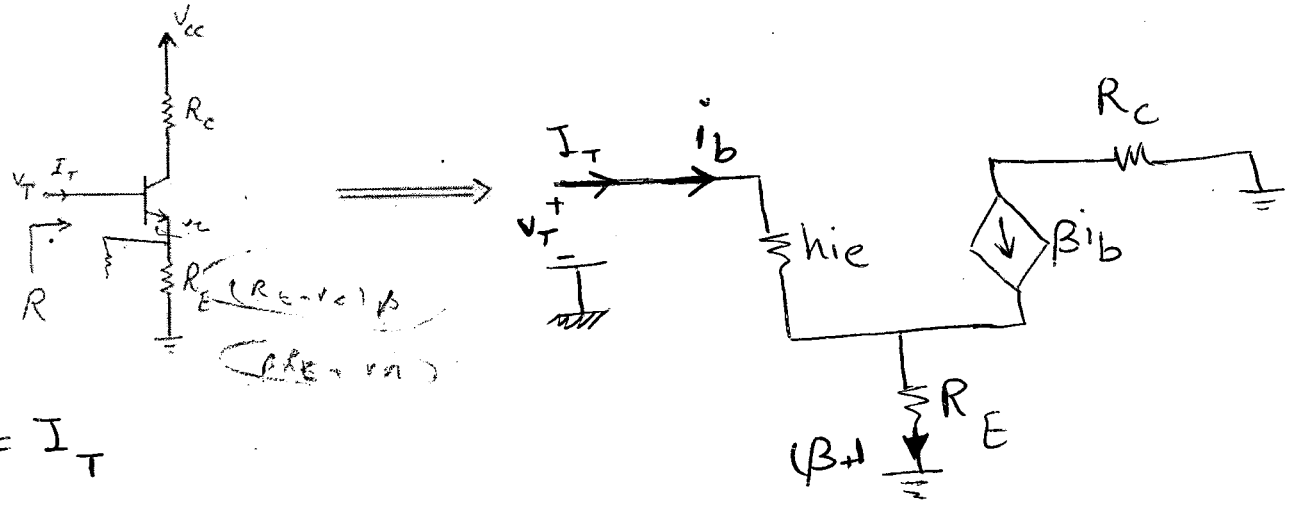




LearnElement.ir

هزوه الکترونیک استاد باغستانی (آستان ۹۰)
www.burgh-arshad.com

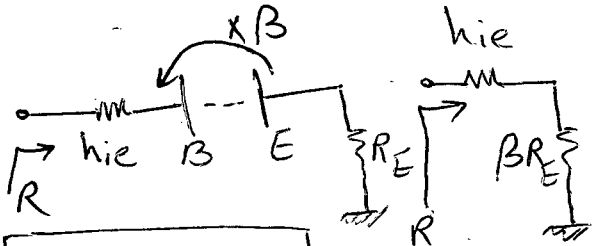
در مدارات زیر مطلوبست محاسبهٔ مقاومت R :



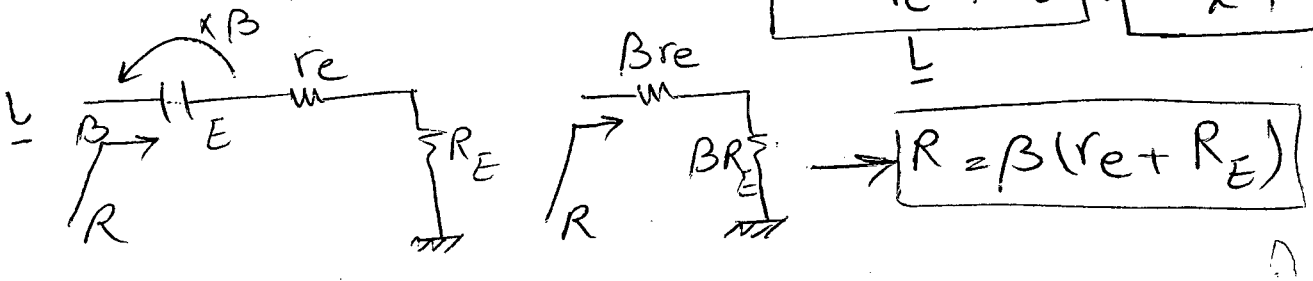
$$i_b = I_T$$

$$V_T = hie \cdot I_T + R_E(\beta+1)I_T$$

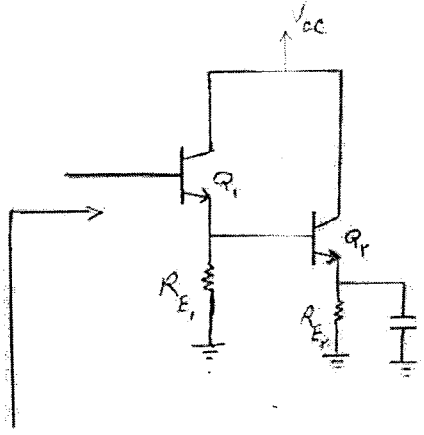
$$R = \frac{V_T}{I_T} = \boxed{hie + R_E(\beta+1)}$$



$$\boxed{R = h_{ie} + \beta R_E} \quad \boxed{R = r_\pi + \beta R_E}$$



$$\boxed{R = \beta(r_e + R_E)}$$



$$R = ((r_{\pi_1} \parallel R_{E_1}) + r_{e_1})\beta_1$$

LearnElement.ir

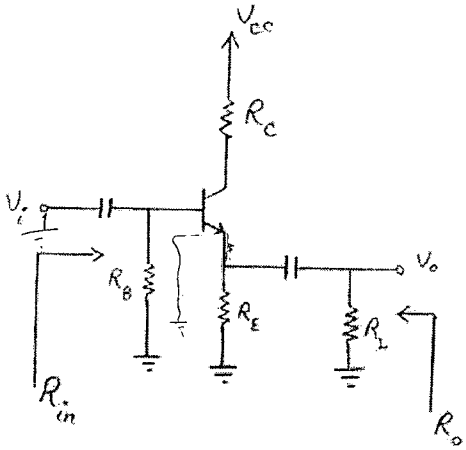
مطلوبست محاسبهٔ مقاومت ورودی (R_{in}) و خروجی (R_o) :

برای محاسبهٔ مقاومت از یک نقطه ، ابتدا بایستی تمامی منابع را خنثی نماییم

سپس یک منبع تست در نقطهٔ مورد نظر قرار داده و جریان تست (I_T) را از آن

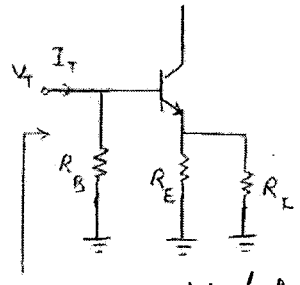
نقطه اعمال می کنیم

$$R = \frac{V_T}{I_T}$$

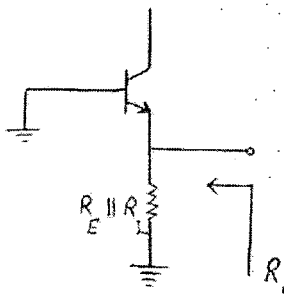


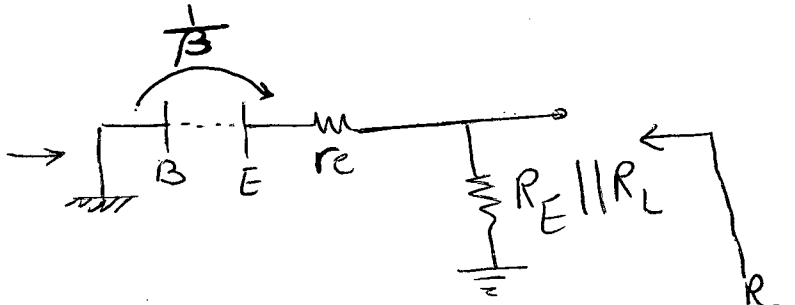
$R_o = R_E \| R_L \| r_e$

توجه : خازن در حالت dc ، اتصال کوتاه ، سلف مدار باز ، منبع جریان dc مدار باز و منبع ولتاژ dc ، اتصال کوتاه می شوند



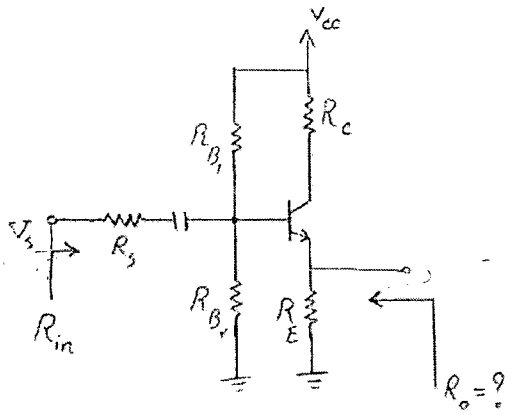
$$R_{in} = R_B \| \left(h_{ie} + \beta (R_E \| R_L) \right)$$

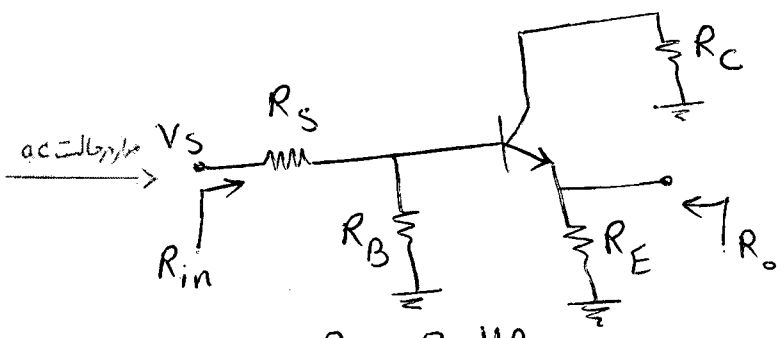




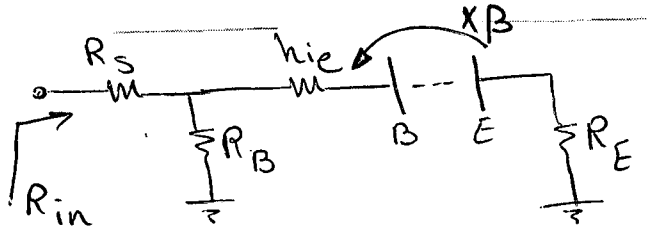
$$R_o = R_E \| R_L \| r_e$$

LearnElement.ir

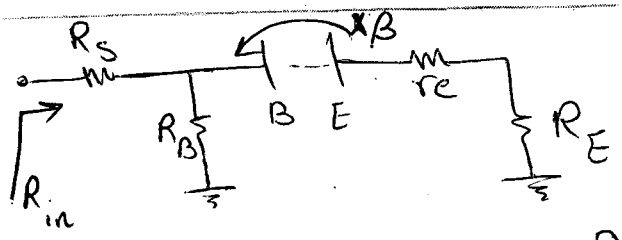




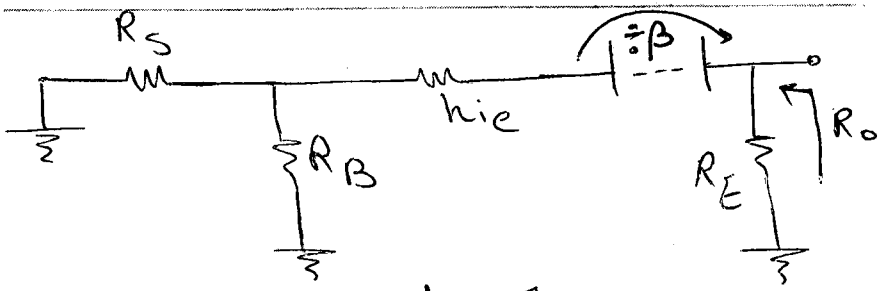
$$R_B = R_{B_1} \| R_{B_2}$$



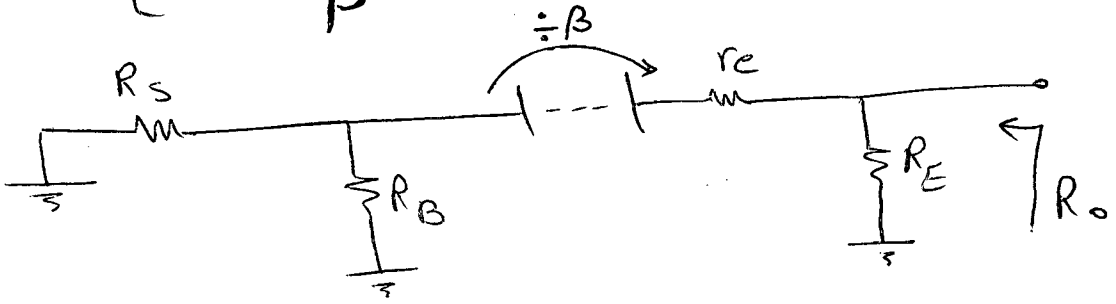
$$R_{in} = R_s + \{R_B \| [h_{ie} + \beta R_E]\}$$



$$R_{in} = R_s + \{R_B \| \beta(r_e + R_E)\}$$

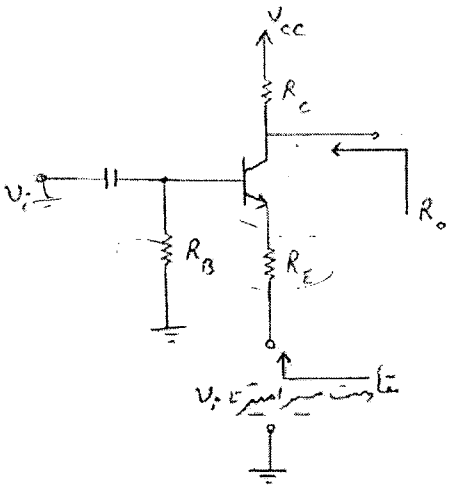


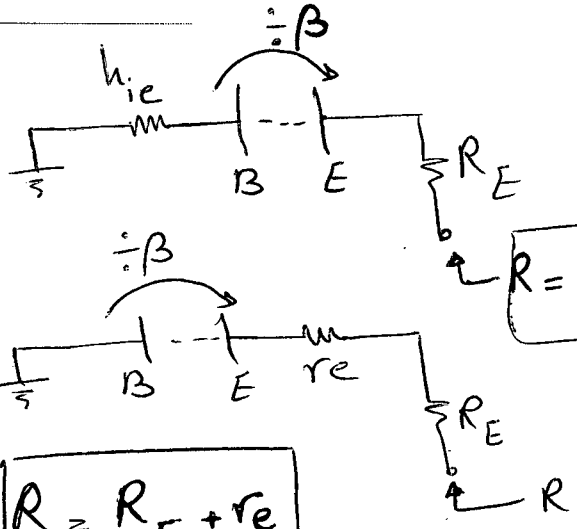
$$R_o = \left[\frac{(R_s \| R_B) + h_{ie}}{\beta}\right] \| R_E$$



$$R_o = \left\{\frac{R_s \| R_B}{\beta} + r_e\right\} \| R_E$$

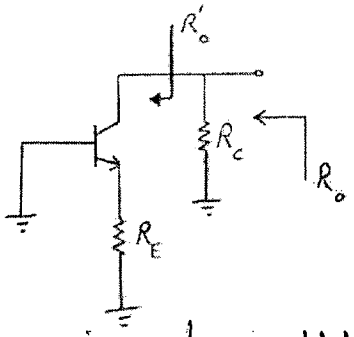
LearnElement.ir

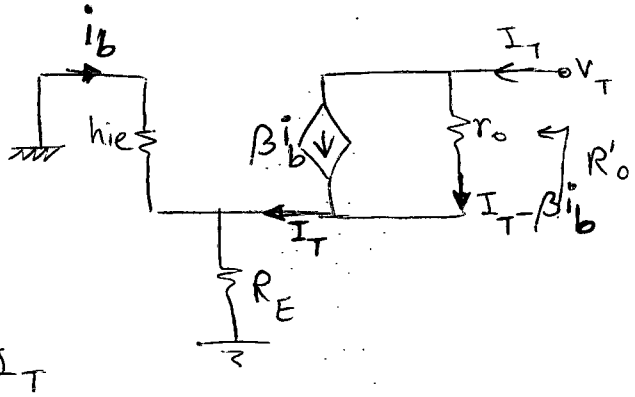




مقدار دقیق $= R_o' = r_o + (1 + g_m r_o)(R_E \| r_\pi)$

مقدار تقریبی $R_o' \approx r_o (1 + g_m (R_E \| r_\pi))$





$$V_T = r_o (I_T - \beta i_b) + (R_E \| h_{ie}) I_T$$

$$i_b = \frac{-R_E}{R_E + h_{ie}} I_T$$

$$\Rightarrow V_T = r_o I_T + \beta r_o * \frac{R_E}{R_E + h_{ie}} I_T + (R_E \| h_{ie}) I_T$$

$$\Rightarrow V_T = \left[r_o + \frac{\beta r_o}{h_{ie}} (R_E \| h_{ie}) + R_E \| h_{ie} \right] I_T$$

$$R_o' = r_o + g_m r_o (R_E \| h_{ie}) + \underbrace{(R_E \| h_{ie})}_{R_E'}$$

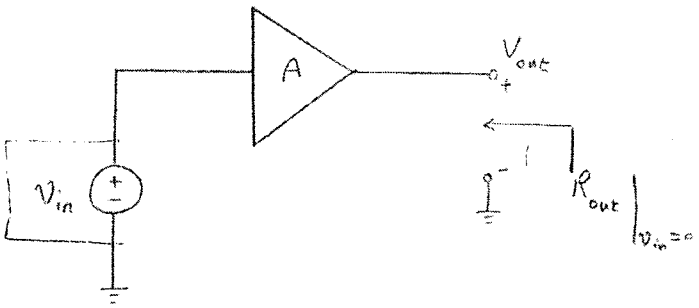
$$R_o' = r_o + (1 + \mu_o) R_E' \qquad \frac{r_o}{r_e} \approx g_m r_o \qquad R_E' = R_E \| h_{ie}$$

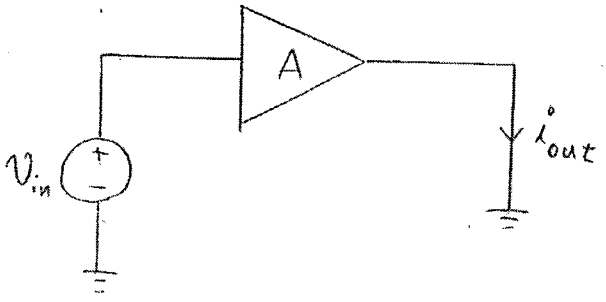
LearnElement.ir

روش نورتن جهت محاسبهٔ بهره و امپدانس :

ابتدا با خنثی نمودن منابع مقاومت خروجی R_{out} را محاسبه می‌کنیم.

سپس خروجی را اتصال کوتاه می‌کنیم و جریان حالت اتصال کوتاه خروجی را محاسبه می‌کنیم

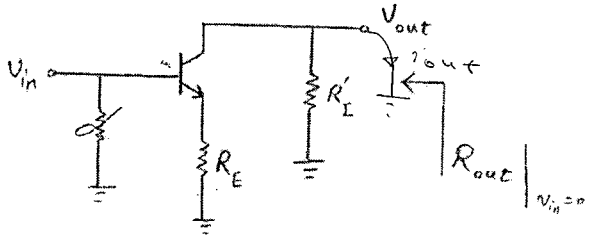




در نتیجه خواهیم داشت :

$$V_{out} = i_{out} \cdot R_{out}$$

ب) محاسبهٔ بهره CE در حالت $r_o \neq \infty$:



$R_{out} =$

$$i_{out} = \frac{-v_{in}}{r_e + R_E}$$

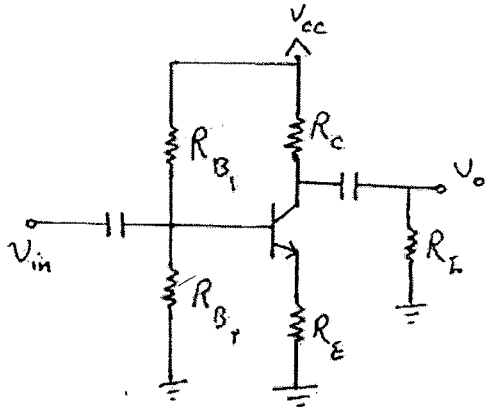
$$R_{out} = R'_L \,||\, \left(r_o(1+g_m(R_E||r_\pi)\right)$$

$$-v_o = i_{out} \cdot R_{out}$$

LearnElement.ir

تقویت کننده امیتر مشترک (CE) :

در این نوع آرایش، سیگنال ورودی به بیس اعمال می‌گردد و خروجی از کلکتور گرفته می‌شود.



مدار معادل در حالت ac ⟹

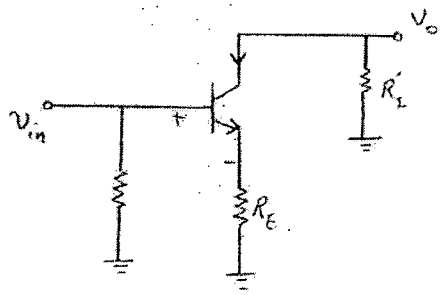
الف) فرض $r_o = \infty$

$$i_{out} = \frac{v_{in}}{R_E + r_e}$$

$$R_{out} = R_L \| R_C = R'_C$$

$$V_o = i_{out} \cdot R_{out}$$

حل با مدل π :



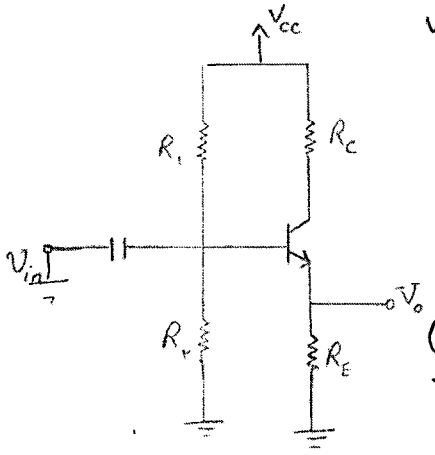
نکته :

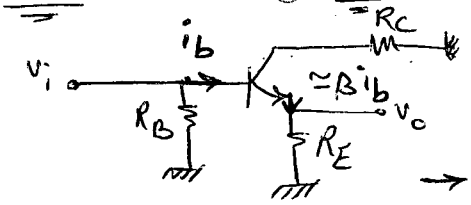
LearnElement.ir

مدار کلکتور مشترک :

در این نوع آرایش ، سیگنال ورودی به بیس اعمال می گردد و خروجی از امیتر گرفته می شود.

مدار در حالت ac :





$$V_o = \beta i_b + R_E \quad (1)$$

$$V_i = i_b (h_{ie} + R_E)$$

$$= \beta i_b (\beta r_e + R_E) \quad (2)$$

(1) و (2) $\rightarrow \dfrac{V_o}{V_i} = + \dfrac{R_E}{R_E + r_e} < 1$

$$\rightarrow \frac{V_o}{V_i} = + \frac{\text{مقاومت موجود در امیتر}}{\text{مقاومت مسیر امیتر}}$$

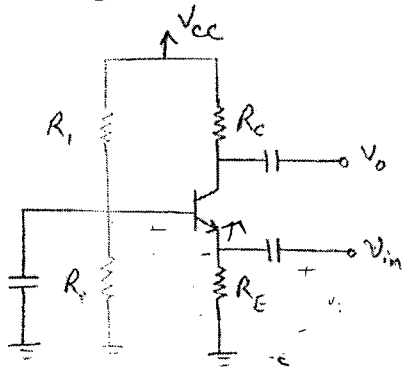
if $r_e \ll R_E \rightarrow \boxed{\dfrac{V_o}{V_i} = 1}$

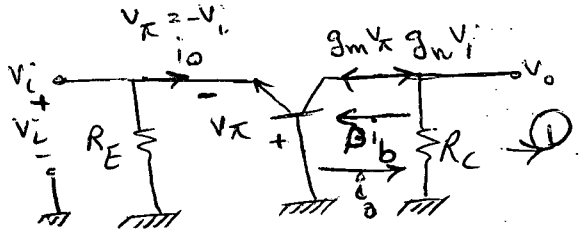
$$i_{out} = \frac{V_{in}}{R_E + r_e}$$

$$R_{out} = R_E \| r_e$$

$$V_o = i_o \cdot R_o = \frac{V_{in}}{R_E + r_e} \cdot R_E \| r_e$$

مدار بیس مشترک : در این نوع آرایش ، سیگنال ورودی به امیتر اعمال می گردد و خروجی از کلکتور گرفته می شود





مدل π :

$$\begin{cases} V_\pi = -V_i \\ V_o = g_m V_i \times R_C \Rightarrow \dfrac{V_o}{V_i} = g_m R_C \overset{(1)}{\leftarrow} \dfrac{R_C}{r_e} \end{cases}$$ (فرض : $r_o = \infty$)

$$i_{out} = \frac{V_{in}}{r_e}$$

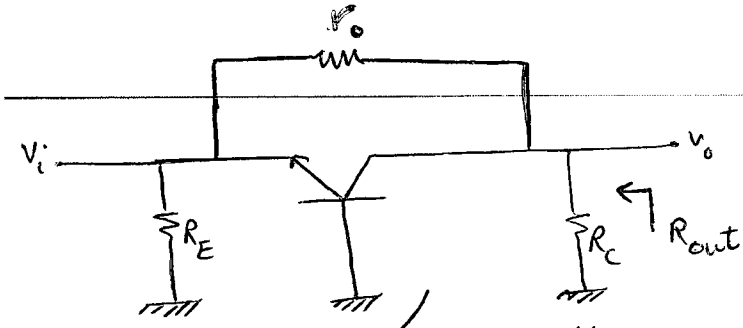
$$R_{out} = R_C$$

$$A_v = g_m R_C$$

مدل hfe :

$$\begin{cases} V_o = -R_C \times \beta i_b = R_C \times i_o \\ V_i = i_o \times r_e \end{cases} \rightarrow \Rightarrow \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_C}{r_e}$$

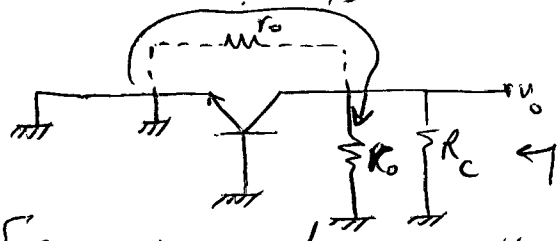
LearnElement.ir



$R_{out}\Big|_{V_i=0} = R_C \| r_o$

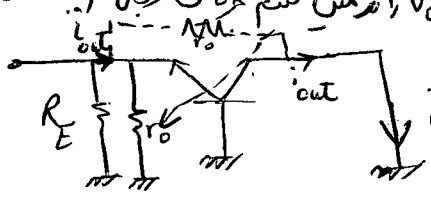
اگر $r_o \neq \infty$ باشد

اگر V_i را صفر بستم مدار به شکل زیر می‌شود:



$R_{out}\Big|_{V_i=0} = R_C \| r_o$

حال اگر V_o را صفر بستم حال جریان خروجی هم به این شکل می‌شود:



خیلی بزرگ

$$V_i = i_{out} \times (r_o \| r_e) \simeq i_{out} r_e \rightarrow i_{out} = \frac{V_i}{r_e}$$

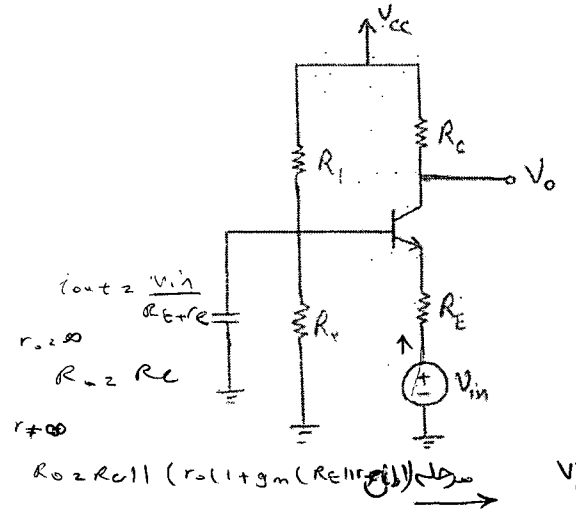
$$V_{out} = i_{out} \cdot R_o = \frac{V_i}{r_e} \times R_C \| r_o$$

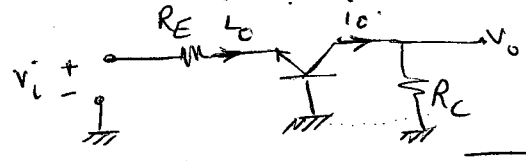
$V_o = \omega \; r_o \neq \infty$

$A_V = g_m R_C$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{R_C \| r_o}{r_e}$$

مدار در حالت ac به این شکل است:



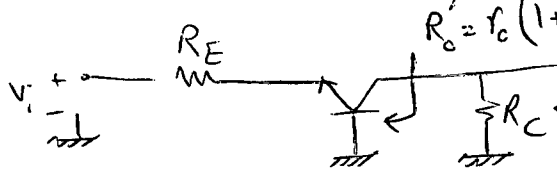


$$\begin{cases} V_o = R_C \times i_o \\ V_i = (R_E + r_e) i_e \end{cases} \Rightarrow \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_C}{R_E + r_e}$$

اگر: $(r_o = \infty$ "

$r \neq \infty$

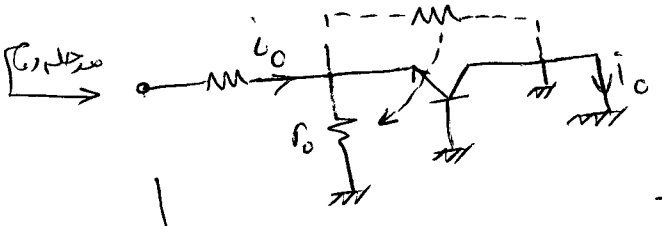
$$R_o' = r_o \left(1 + \frac{R_E \| h_{ie}}{r_e}\right)$$

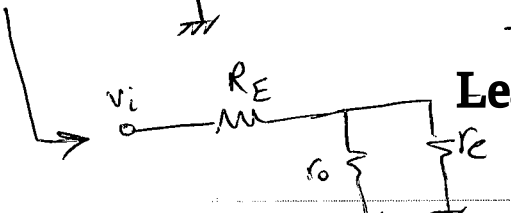


② $R_o = R_C \| [R_o']$

مرحله (۱)

مرحله (۲)





① $\rightarrow V_i = [R_E + r_o \| r_e] i_{out} \rightarrow i_{out} = \frac{V_i}{R_E + r_e}$

بزرگ

② $\Rightarrow V_{out} = R_o \cdot i_{out} = \frac{R_C \| R_o'}{R_E + r_e}$

LearnElement.ir

(برق - ۸۸) در تقویت‌کننده‌ی زیر، اگر $\beta = 100$ ، $|V_A| = 250V$ و منبع جریان ایده‌آل باشد، $\frac{V_o}{V_s}$ به کدام گزینه نزدیک‌تر است؟

$(V_T = 25mV)$ $g_m = \epsilon^m$

$r_e = r_{50} = 0.25k\Omega$

$r_x = r_{50}\ k\Omega$

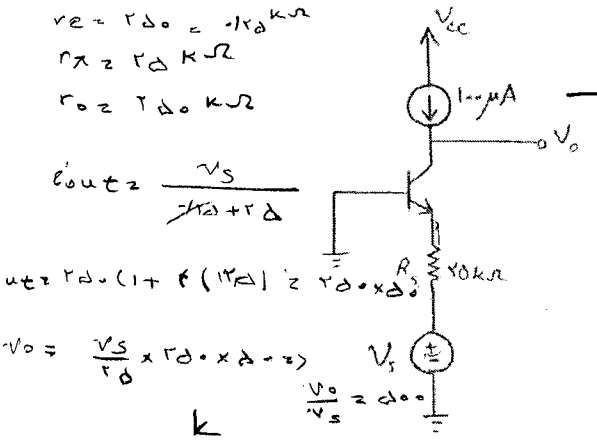
$r_o = 250\ k\Omega$

$i_{out} = \frac{V_S}{\cdots + r_{50}}$

$R_{out} = r_{50}(1 + \beta(\cdots)) = r_{50} \times 50$

$-V_o = \frac{V_S}{r_{50}} \times r_{50} \times 50 \Rightarrow$

$\frac{V_o}{V_s} = 500$



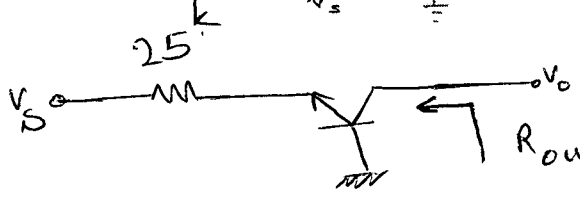
r_{50} (۴ ∞ (۳ ۱۰۰۰ (۲ ۵۰۰ (۱

$I_C = 0.1mA$

$r_e = \frac{25^{mv}}{0.1mA} = 250^{\Omega} = \frac{1}{4}k\Omega$

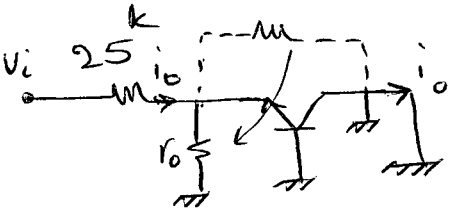
$r_o = \frac{25}{0.1mA} = 250k\Omega$

$h_{ie} = \beta r_e = 100 \times \frac{1}{4} = 25k$



$R_{out} = R'_o = r_o\left(1 + \frac{h_{ie} \| R_E}{r_e}\right)$

$= 250^k\left(1 + \frac{25^k \| 125^k}{\frac{1}{4}^k}\right) \simeq 50 \times 250^k$



$\rightarrow V_S = i_{out} \times \left[R_E + (r_e \| r_o)\right] = (R_E + r_e)\, i_{out}$

$\rightarrow V_S = \left(25 + \text{تقریباً صفر} \frac{1}{4}k\right) i_{out} \simeq 25^k\, i_{out}$

$\rightarrow i_{out} = \frac{V_S}{25^k}$

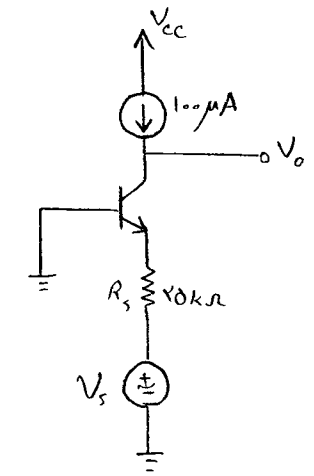
$\rightarrow V_{out} = R_{out} \cdot i_{out} \Rightarrow = 50 \times 250k \frac{V_S}{25} = 500V_S$

LearnElement.ir

برق - ۱۸) در تقویت کننده زیر، اگر $\beta = 100$ ، $|V_A| = 25V$ ، منبع جریان ایده آل باشد، $\frac{V_o}{V_s}$ به کدام گزینه نزدیکتر است؟

$(V_T = 25mV)$

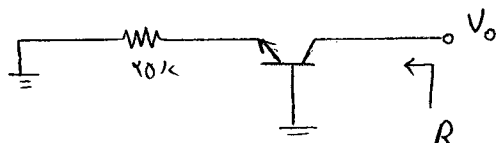
۱) ۵۰۰ ۲) ۱۰۰۰ ۳) ∞ ۴) ۲۵۰



$$r_o = \frac{V_A}{I_c} = \frac{25}{0.1} = 250\,k\Omega$$

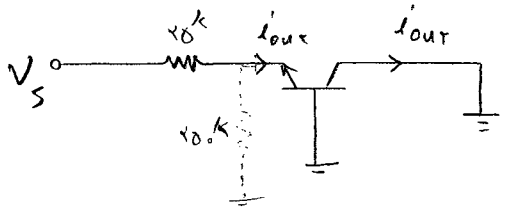
$$I_C = 0.1\,mA \longrightarrow r_e = 250\,\Omega = \frac{1}{4}\,k\Omega \rightarrow h_{ie} = 25k$$

$$\therefore g_m = 4\,\frac{mA}{V}$$



$$R_{out} = r_o\left(1 + \frac{R_E \| h_{ie}}{r_e}\right)$$

$$= 250^k\left(1 + \frac{25^k \| 25^k}{\frac{1}{4}k}\right) = 250^k \times 5$$

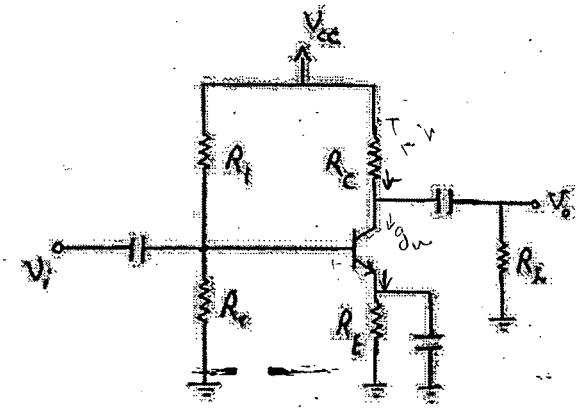


$$i'_{out} = \frac{V_s}{25^k + r_e} \simeq \frac{V_s}{25^k}$$

$$V_{out} = R_{out} \cdot i'_{out} = 25^k \times 5 \times \frac{V_s}{25^k} = 500\,V_s$$

LearnElement.ir

سؤال ۸۰) بهره ولتاژ $A_v = \left|\frac{V_o}{V_i}\right|$ در مدار زیر برابر ۴۸ در اختلاف پتانسیل DC دو سر مقاومت R_C برابر ۳ ولت است. مقدار مقاومت R_C به کدام گزینه نزدیک‌تر است؟



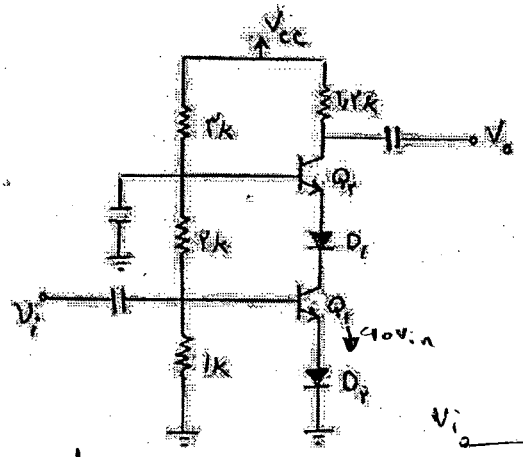
۱) R_L
۲) $2R_L$
۳) R_L
۴) $1.5R_L$

$R_C \times I_C = 3V$

$$\left|\frac{V_o}{V_i}\right| = \frac{R_C \| R_L}{r_e} = \frac{\frac{R_C \times R_L}{R_L + R_C}}{\frac{V_T}{I_C}} = \frac{R_C \times I_C}{V_T} \times \frac{R_L}{R_C + R_L} \Rightarrow$$

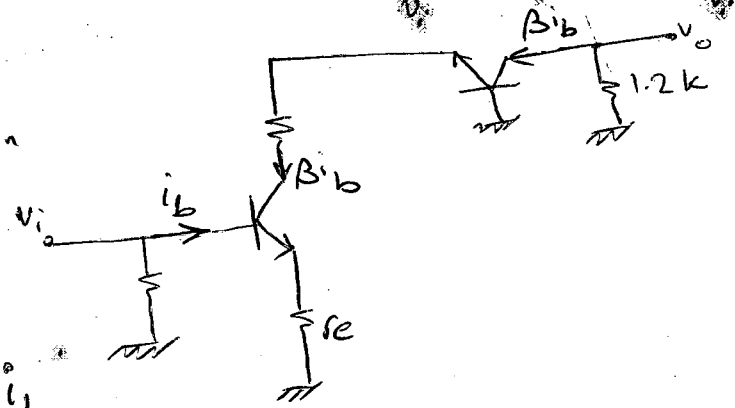
$$\Rightarrow 48 = \frac{3}{\frac{1}{40}V} \times \frac{R_L}{R_C + R_L} \rightarrow (R_C + R_L)48 = 120 R_L \rightarrow R_C = 1.5 R_L$$

سؤال ۸۳) در شکل مقابل جریان dc ترانزیستورها در دیودها برابر با ۲mA می‌باشد. مطلوبست محاسبه بهره ولتاژ؟



$$r_d = \frac{V_T}{I_{DQ}} = \frac{V_T}{I_{CQ}} = \frac{25}{2} = 12.5\,\Omega = \frac{1}{80}\,k\Omega$$

۱) $\frac{V_o}{V_i} = -48$
۲) $\frac{V_o}{V_i} = -24$
۳) $\frac{V_o}{V_i} = -12$
۴) $\frac{V_o}{V_i} = -4$



$$V_o = -1.2^{k} \times \beta i_b$$

$$V_i = i_b[\beta(r_e + r_e)] = 2r_e * i_b$$

$$\rightarrow \frac{V_o}{V_i} = \frac{-1.2^{k} \times \beta i_b}{2 \times \frac{1}{80} \times 1 \times \beta \times \beta i_b} = -48$$

LearnElement.ir

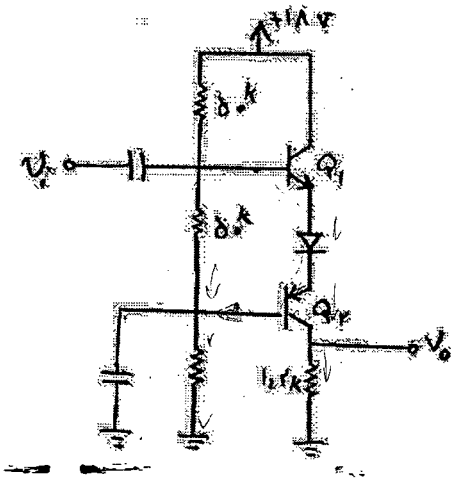
۲۵) در مدار شکل مقابل مطلوبست تعیین بهره ولتاژ و امپدانس ورودی مدار:

$I_{CQ_1}=1mA \rightarrow r_d=r_e=25\Omega$

$\beta_1=100$

$\beta_2=50$

$V_T=25mV$

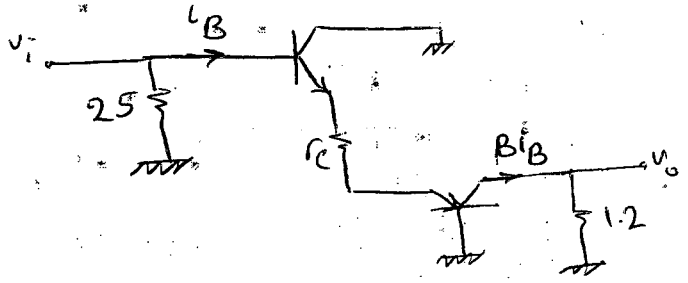


۱) $R_{in}=1.2\,k\Omega$ ، $A_v=-24$

۲) $R_{in}=5.7\,k\Omega$ ، $A_v=+24$

۳) $R_{in}=25\,k\Omega$ ، $A_v=-16$

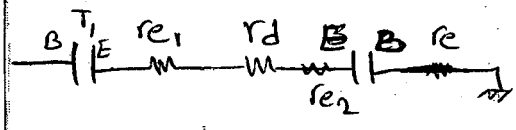
۴) $R_{in}=0.7\,k\Omega$ ، $A_v=+16$ ✓



$V_o=1.2^k \times \beta i_b$

$V_i=i_B \times \underbrace{\left[\beta_1(r_{e_1}+r_d+r_{e_2})\right]}_{3r_e}$

$\rightarrow \frac{V_o}{V_i}=\frac{1.2}{3r_e}=16$



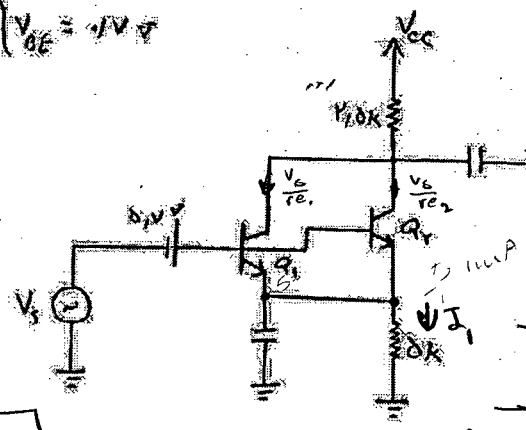
$\rightarrow R_{in}=25^K \,||\, \underbrace{\left(100\times 3\times \frac{25}{1000}\right)}_{0.5^k}=5.7k$

کاردانی به کارشناسی سراسری ۸۶) در تقویت کننده مثل زیر مقدار $\left|\frac{V_o}{V_i}\right|$ کدام است؟

$V_T=25mV$

$V_{BE}=0.7V$

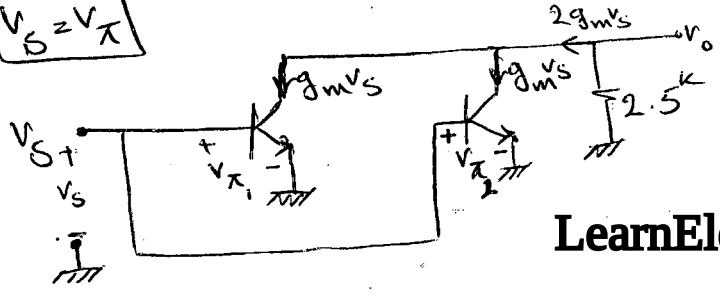
۱) ۲۵ ۲) ۵۰ ۳) ۱۰۰ ۴) ۲۰۰ ✓



$I_1=\frac{5.7-0.7}{5^k}=1mA \rightarrow I_{C_1}=I_{C_2}=0.5A$

$\rightarrow r_e=50\Omega \rightarrow r_e=\frac{1}{20}k=20\frac{1}{k}\Omega$

$V_b=V_\pi$



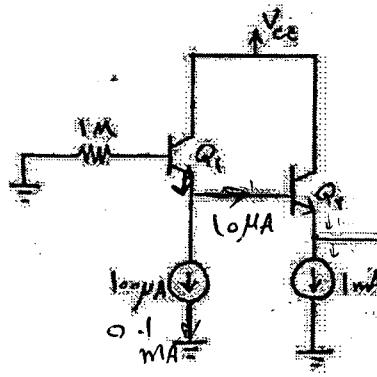
$\rightarrow V_o=-2.5\times 2g_mV_s$

$=-2.5\times 2\times 20=-100$

LearnElement.ir

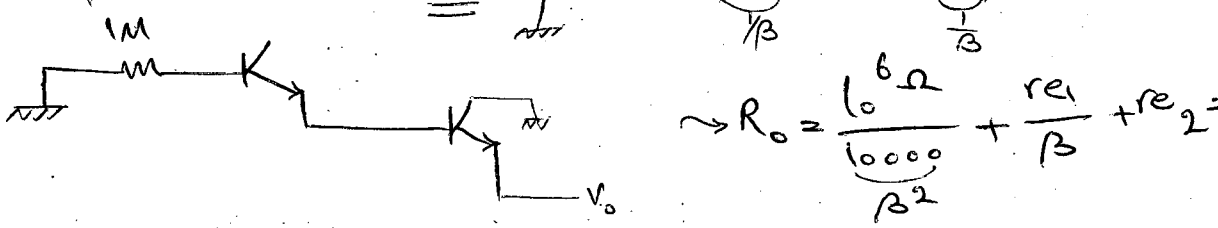
کارشناسی ارشد ۹۴ – ۱۸) در مدار زیر، امپدانس خروجی R_o چند اهم است؟ $(\beta=100 \ , \ V_T=25\,mV)$

۱) ۴٫۵ ۲) ۲۵ ۳) ۱۰۲٫۵ ۴) ۱۲۷٫۵ ✓



$\rightarrow I_{C_2} = 1mA \rightarrow re_2 = 25\Omega$

$I_{C_1} = 10\mu + 100\mu = 1000\mu A = 1mA$



$$\rightarrow R_o = \frac{10^6\,\Omega}{\frac{10000}{\beta^2}} + \frac{re_1}{\beta} + re_2 = 127.5$$

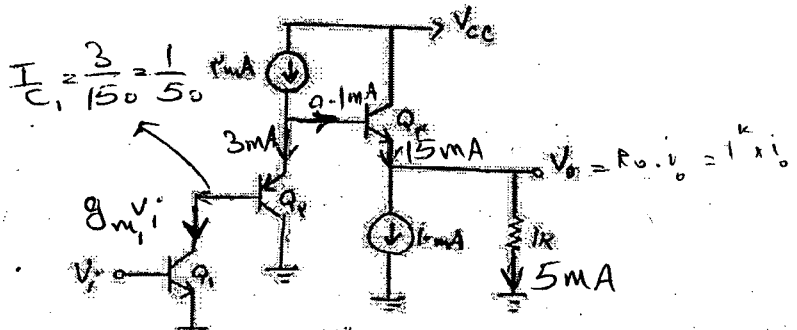
در مدار زیر ($W=$ برق) در صورت ایده‌آل بودن منبع جریان و صرف‌نظر کردن h_{re} و h_{oe} ترانزیستورها، بهره ولتاژ $\frac{V_o}{V_i}$ مدار به کدام گزینه نزدیک‌تر است؟ $(\beta=150 \ , \ V_o(dc)=5\,V)$

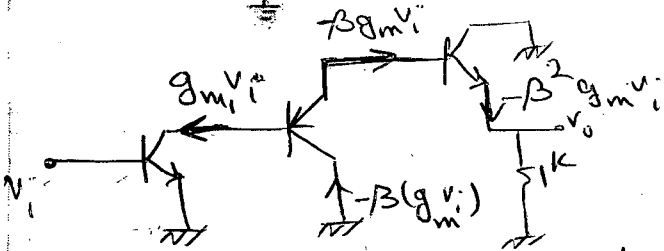
۱) 3.5×10^4

۲) 2.5×10^4

۳) 1.2×10^4

۴) 1.8×10^4 ✓





$\rightarrow V_o = -1^K \times \beta^2 \times g_{m_1} V_i$

$\rightarrow \frac{V_o}{V_i} = -1^K \times (150^2) \times \frac{4}{5} = -1.8\times10^4$

$\rightarrow g_{mM} = \frac{I_C}{V_T} = \frac{\frac{1}{50}}{25} = \frac{\frac{1}{50}\,mA}{\frac{1}{40}\,mV} = \frac{4}{5}\,mA/V$

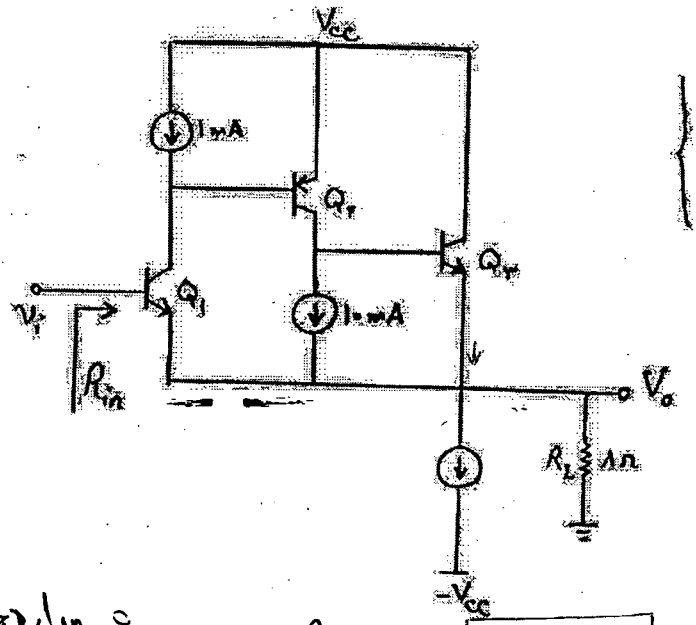
LearnElement.ir

۲۷

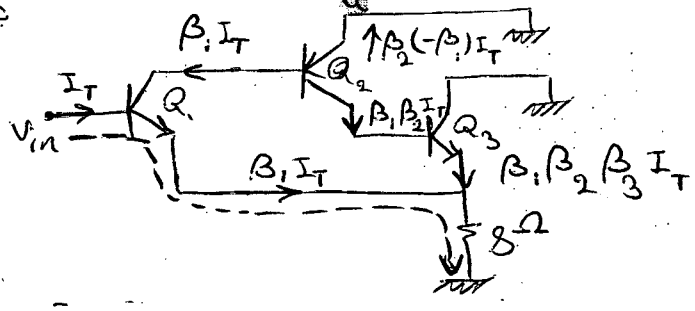
۲۷- (کنکور ارشد ۹۰) مدار شکل مقابل مقاومت خروجی یک تقویت کننده را نشان می‌دهد. منابع جریان ایده‌آل هستند. امپدانس ورودی این مدار تقریباً چند کیلواهم (kΩ) است؟

$\beta_1 = \beta_2 = 100$
$\beta_3 = 50$
$V_A = \infty$

۱) ۴۰
۲) ۸۰
۳) ۲۰۰۰
۴) ۴۰۰۰



مدار معادل ac:



KVL:

$$\rightarrow V_T = I_T h_{ie_1} + 8\Omega\left[\underbrace{\beta_1\beta_2\beta_3 I_T + \beta_1 I_T}_{\beta_1\beta_2\beta_3 I_3}\right]$$

$$\rightarrow \frac{V_T}{I_T} \simeq \beta_1\beta_2\beta_3 \times 8\Omega$$

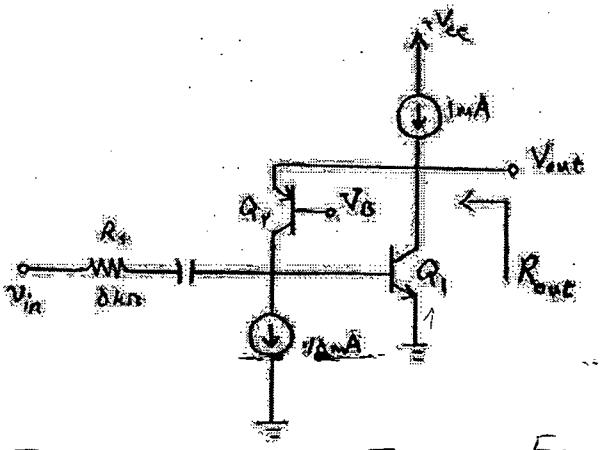
$$\simeq 8\Omega \times 100 \times 100 \times 50 = 4000k\Omega$$

LearnElement.ir

۲۸

R_{out} در مدار شکل زیر ترانزیستورهای Q_1 و Q_2 در ناحیه فعال بایاس شده‌اند. مقدار مقاومت خروجی (۸۷ ـ عمران)

$(V_A = \infty \;,\; V_T = 25mV \;,\; \beta = 100)$ کدام گزینه تقریباً برابر است؟



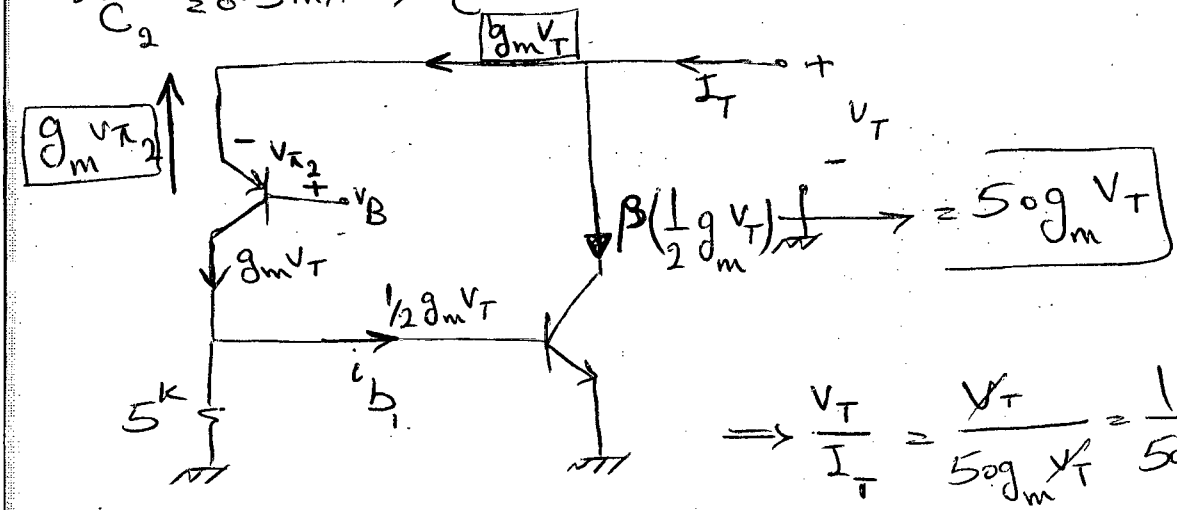
$R_{out} = 75\Omega$ (۱

$R_{out} = 1\Omega$ (۲

$R_{out} = 75\Omega$ (۳

$R_{out} = 5\Omega$ (۴

$I_{C_2} = 0.5mA \rightarrow I_C = 0.5mA \Rightarrow r_{e_1} = r_{e_2} = 50\Omega$



$$\Rightarrow \frac{V_T}{I_T} = \frac{V_T}{50 g_m V_T} = \frac{1}{50 \times 20} = \frac{1}{1000} = 1\,k\Omega$$

$$r_e = 50\,\Omega = \frac{1}{20}\,k \rightarrow g_m = 20\,\frac{mA}{V}$$

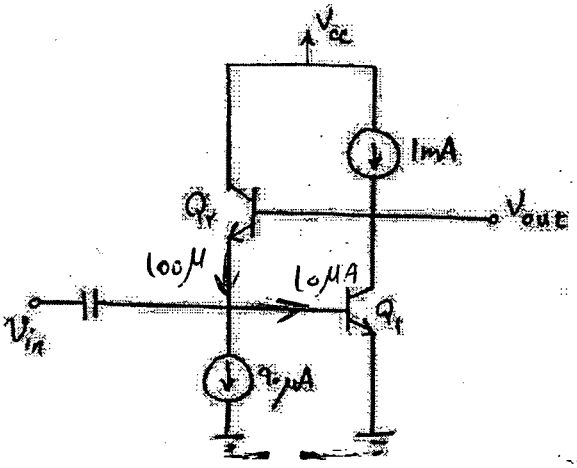
$$\hookrightarrow h_{ie} = 5k\,\beta r_e$$

$$i_{b_1} = \frac{5^k}{\underbrace{5^k}_{5k} + h_{ie}}\, g_m V_T = \frac{1}{2} g_m V_T$$

$$I_T = g_m V_T + 50 g_m V_T \simeq 50 g_m V_T$$

LearnElement.ir

اتوماسیون ۱۹ - ۱۹) در مدار شکل مقابل ترانزیستورهای Q_1 و Q_2 در ناحیه فعال بایاس شده‌اند. مقدار بهره ولتاژ $A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$ آن تقریباً کدام است؟



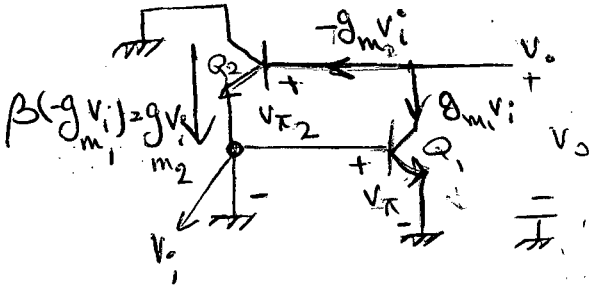
$\beta = 100$
$V_A = \infty$
$V_T = 25\,mV$

۱) -۱۰۰۰
۲) -۵۰۰
۳) -۴۰
۴) -۱۰

$$re_2 = \frac{25^{mv}_{o}}{100\mu} = \frac{1}{4}\,k$$

$$re_1 = \frac{25mv}{2mA} = 25\Omega = \frac{1}{40}\,k$$

$$g_{m_2} = 4\,\frac{mA}{V}\,,\quad g_{m_1} = \frac{1}{25\Omega} = 40\,\frac{mA}{V}$$



$$V_{\pi_2} = V_o - V_i \rightarrow -\beta g_{m_1} V_i = g_{m_2}(V_o - V_i)$$

$$\rightarrow g_{m_2} V_o = -\beta g_{m_1} V_i + g_{m_2} V_i$$

صورت و مخرج را بر g_{m_2} تقسیم کنید

$$V_o = -\beta \frac{g_{m_1}}{g_{m_2}} V_i + V_i$$

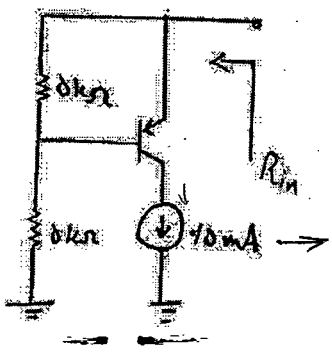
$$\rightarrow \frac{V_o}{V_i} = -\beta \frac{g_{m_1}}{g_{m_2}} = -100 \times \frac{40}{4} = -1000$$

LearnElement.ir

سوال در این قسمت منبع ac مدار باز میشود ← β هم کوتاه میشود $\Rightarrow i_b = 0$ پس نباید از KVL که در مهندسی h_{ie} میشود حرف بزنید.

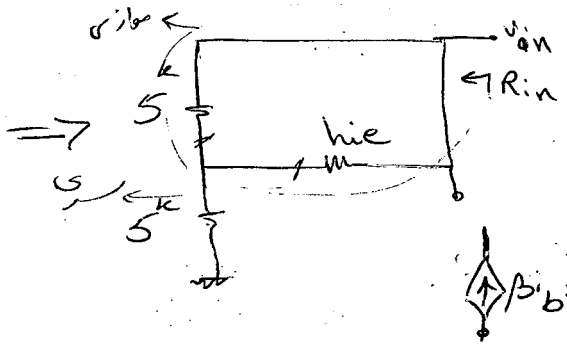
اتومامیون - ۸۹) در مدار شکل مقابل ترانزیستور Q_1 مرتباً فعال بایاس شده است و منبع جریان ایده‌آل $\beta = 100$ است. مقدار مقاومت R_{in} تقریباً چقدر است؟

۱) ۷٫۵kΩ ✓
۲) ۱۰kΩ
۳) ۱۰۰Ω
۴) ۱۵۰Ω



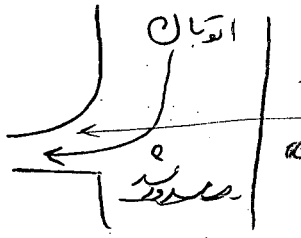
$$r_e = \frac{25}{0.5} = 50\Omega$$

$$h_{ie} = 5^{k}\Omega$$



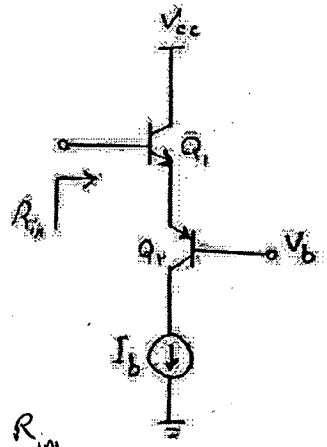
$$5^{k} \| h_{ie} + 5 = 7.5^{k}$$

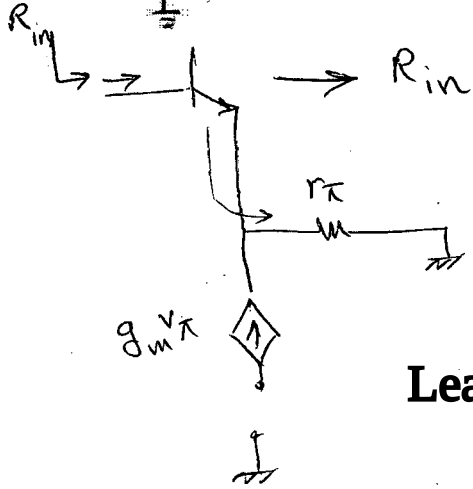
جون همه با ازای ورودی صفر میشود نباید مقاومت دیده میشد R_{in} نیست، h_{ie} است.



برق - ۹۰) در مدار شکل مقابل مقدار مقاومت R_{in} چقدر است؟ (هر ترانزیستور مشابه و منبع جریان ایده‌آل فرض می‌شود)

۱) r_π
۲) $2r_\pi$
۳) $r_\pi(2+\beta)$ ✓
۴) βr_π



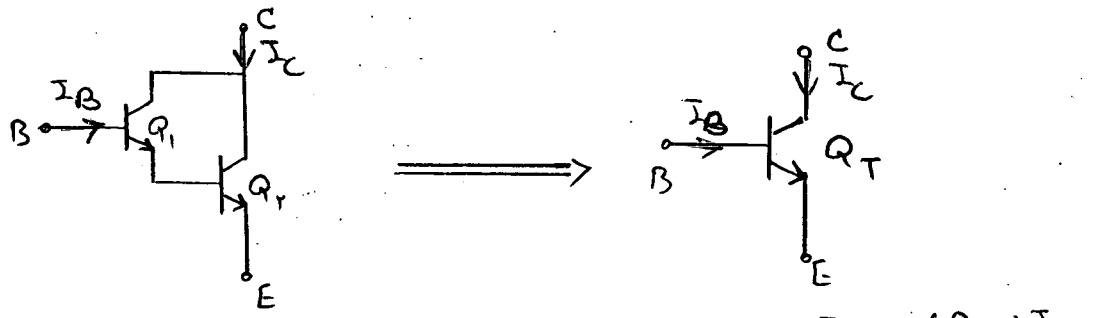


$$R_{in} = r_\pi + (\beta+1) r_\pi = (\beta+2) r_\pi$$

LearnElement.ir

ترکیب دارلینگتون ترانزیستورهای BJT :

در صورتیکه امیتر یا کلکتور یک ترانزیستور به بیس یک ترانزیستور متصل شود مطابق شکلهای زیر ترکیب های مختلفی با نام دارلینگتون خواهیم داشت :



$$\beta_T = \frac{I_C}{I_B} = \frac{I_{C_1}+I_{C_2}}{I_{B_1}} = \frac{\beta_1 I_{B_1} + \beta_2 I_{B_2}}{I_{B_1}} \qquad I_{E_1} \to (\beta_1+1) I_{B_1}$$

$$\to \beta_1 + \beta_2(\beta_1+1) \Rightarrow \beta_T = (\beta_1+1)(\beta_2+1) - 1 \to \boxed{\beta_T \cong \beta_1 \beta_2}$$

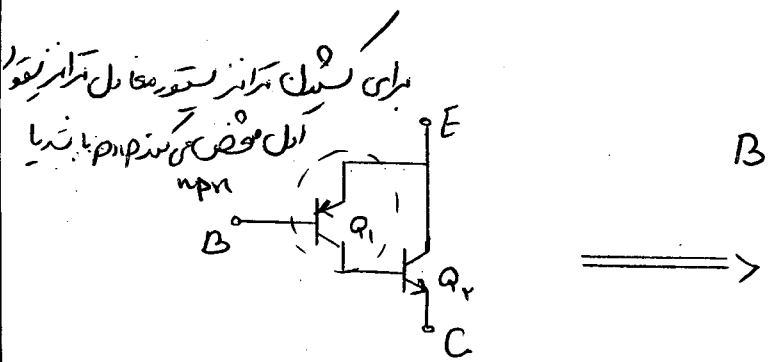
$$h_{ie_T} = h_{ie_1} + (\beta+1) h_{ie_2} = h_{ie_1} + (\beta+1)\frac{V_T}{I_{B_2}} = h_{ie_1} + \frac{V_T}{I_{B_1}}$$

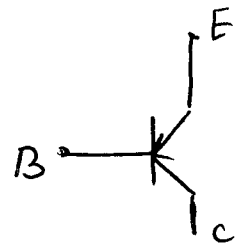
($I_{B_2} = (\beta_1+1) I_{B_1}$)

h_{ie_1}

$$\to \boxed{h_{ie_T} = 2 h_{ie_1}}$$

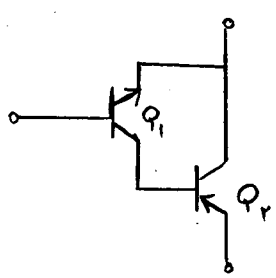
مدلهای (npn - pnp) :

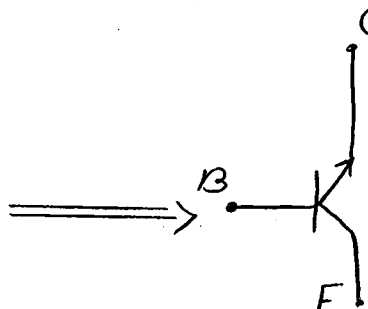




$$\boxed{\beta_T \cong \beta_1 \beta_2}$$

$$\boxed{h_{ie_T} = h_{ie_1}}$$





$$\to \beta_T \cong \beta_1 \beta_2$$

$$h_{ie_T} = h_{ie_1}$$

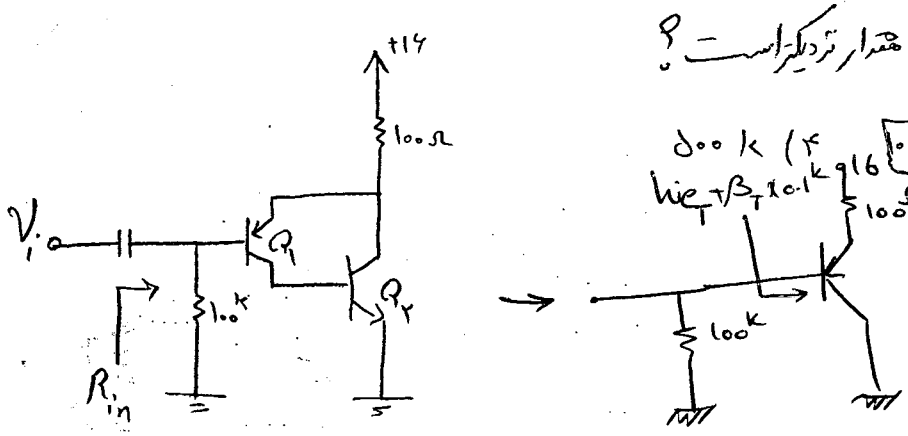
LearnElement.ir

۴۷

برق - ۸۴) برای ترانزیستورهای شکل زیر داریم: $\beta_1 = 150$ ، $\beta_2 = 200$ ، $V_{BE(on)} = 0.7V$

مقاومت ورودی مدار به کدام مقدار نزدیک‌تر است؟

۱) ۵k ۲) ۵۰k ۳) **100k** ۴) ۵۰۰ k



$\beta_T = 150 \times 200 = 30000$

$\rightarrow 0.1^k \times 30000 \simeq 3^k$

hie_T در مقابل 3000^k قابل صرف نظر است.

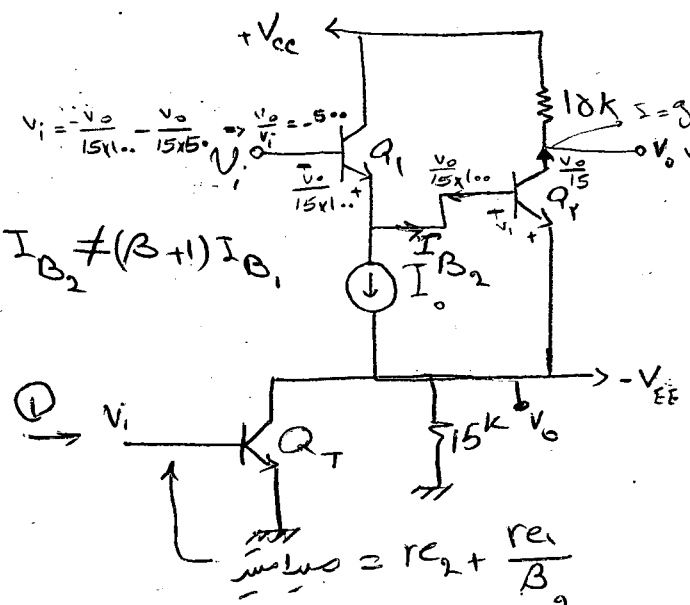
$R_{in} = 100^k \| [hie_T + \beta_1 0.1^k]$

$R_{in} = 100^k \| 3000^k \simeq \boxed{100^k}$

کاردانی به کارشناسی - ۸۷) در تقویت‌کننده‌ی شکل مقابل، مقدار بهره ولتاژ $\left|\frac{V_o}{V_i}\right|$ کدام است؟

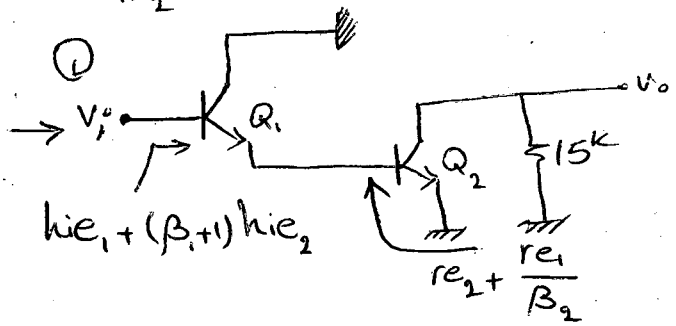
$g_{m_1} = 1ms$ ، $\beta = 100$ ، $g_{m_2} = 50ms$

۱) ۱۲۵ ۲) ۲۵۰ ۳) **۵۰۰** ۴) ۷۵۰



$g_{m_1} = 1ms \rightarrow re_1 = 1^k$

$g_{m_2} = 50ms \rightarrow re_2 = \frac{1}{50}^k = 20^\Omega$

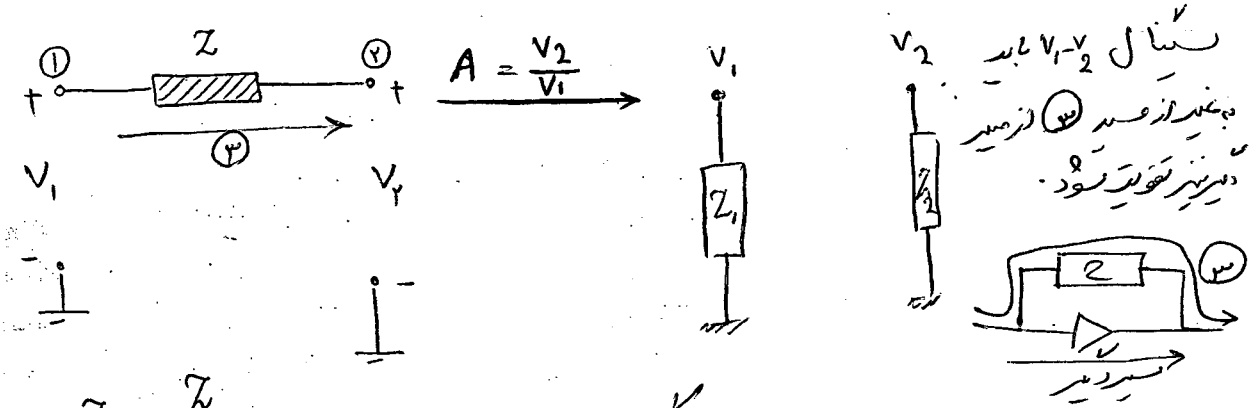


$\rightarrow \frac{V_o}{V_i} = \frac{-15^k}{re_2 + \frac{re_1}{\beta_2}} = \frac{-15 \times 10^3}{20^\Omega + \frac{1^k}{20^\Omega}} = \boxed{-500}$

LearnElement.ir

قضیه میلر: در صورتیکه امپدانس Z بین دو نقطه V_1 و V_2 قرار داشته باشد، بطوریکه $A = \frac{V_2}{V_1}$ باشد

در این صورت امپدانس Z_1 و Z_2 مطابق شکل زیر تبدیل می‌شوند



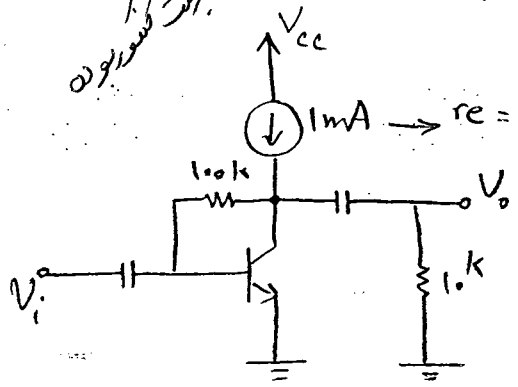
$$Z_1 = \frac{Z}{1-A} \quad , \quad Z_2 = \frac{Z}{1-\frac{1}{A}} \xrightarrow{|A| \gg 1} Z_2 \simeq Z$$

شرط برقراری این قضیه این است که سیگنال مدار فقط از مسیر ③ عبور کند و از طرق مسیرهای دیگر نباید تقویت شود.

در غیر این صورت قوانین مداری به هم می‌خورد

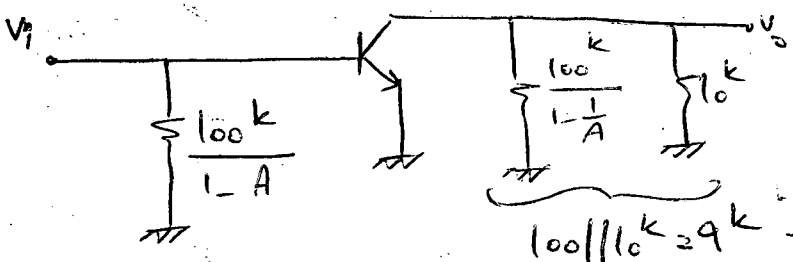
برق ۸۳) بهره ولتاژ مدار شکل مقابل در فرکانس میانی به طور تقریبی برابر است با: ($\beta = 100$, $V_T = 25mV$)

1) -40 2) -100 3) -360 4) -400



$r_e = \frac{25^m}{1m} = 25\Omega = \frac{1}{40}k$

از مزیت‌ها بیدا است که $V_A > 40$ بنابراین می‌توان $r_o = 100^k$ در نظر گرفت:



$100 \| 10^k = 9^k \rightarrow \frac{V_o}{V_i} = \frac{-9^k}{re} = \frac{-9^k}{\frac{1}{40}} = -360$

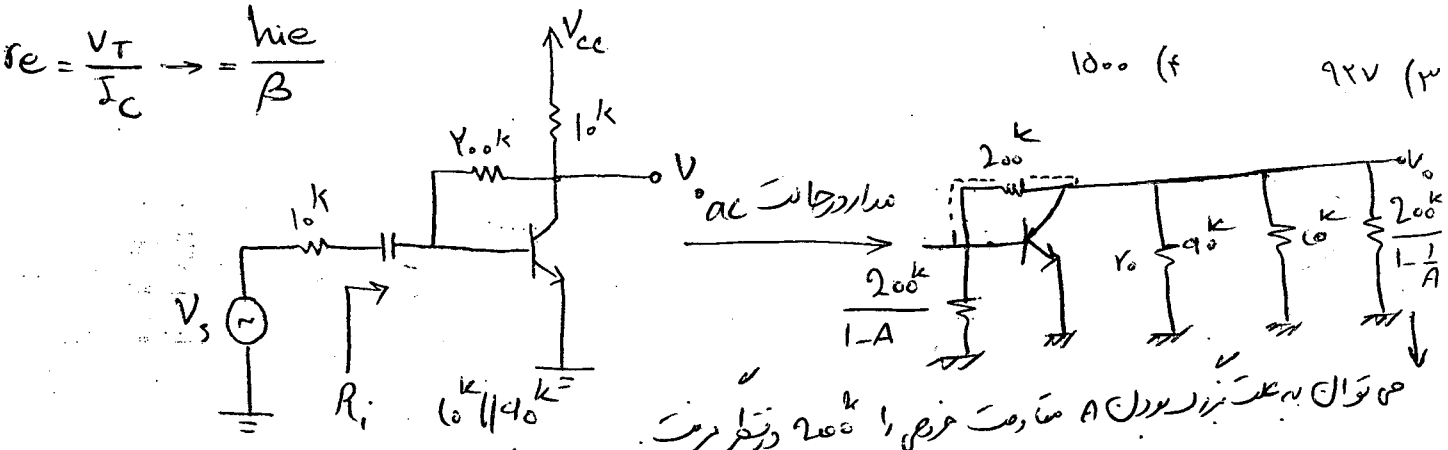
توجه: اگر از روش تقریب $10 = 100 \| 10$ بیرید آورد $\frac{V_o}{V_i} = -400$ می‌شود. چگونه مزیت داریم آنرا باید خیلی مراقب تقریب‌هایی که می‌زنیم باشیم. چون مزیت‌ها ما را طمعکار می‌کنند به هم دارند سعی کنیم تا حد امکان از تقریب استفاده نکنیم.

LearnElement.ir

کاردانی به کارشناسی - ۸۶) در شکل زیر امپدانس ورودی R_i چند اهم است؟

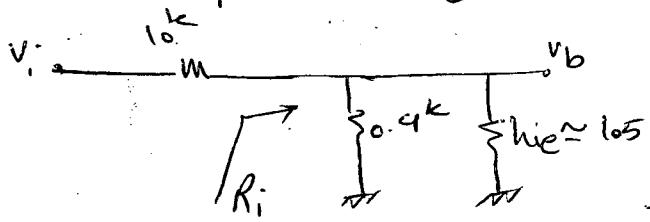
($\frac{1}{h_{oe}} = 40k\Omega$ ، $h_{ie} = 1.1k\Omega$ ، $h_{fe} = 100$)

۱) ۳۰۹ ۲) ۶۱۸ ۳) ۹۲۷ ۴) ۱۰۰۰



می توان به علت بزرگ بودن A مقاومت عرضی را 200^k در نظر گرفت.

$$\rightarrow A = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{100 \times 8^k}{1.5^k} \simeq -530$$

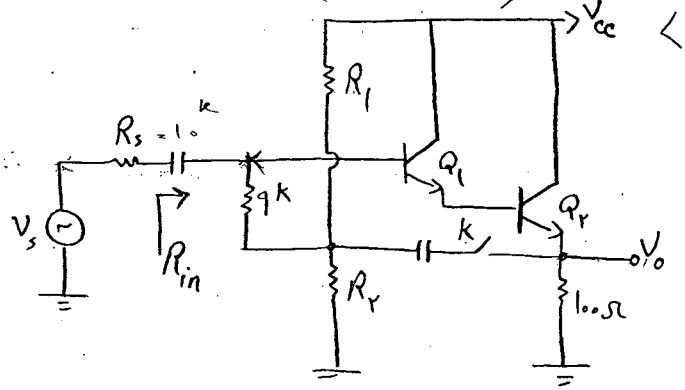


$$\rightarrow R_i = 0.4 \| 1.5^k = 300\Omega$$

$$\rightarrow \frac{v_o}{v_i} = \frac{V_o}{V_b} \times \frac{V_b}{V_i} = -530 \times 0.03 = -16$$

---

۸۵ - در مدار شکل زیر با قطع بودن کلید k مقدار A_{V_s} برابر ۱۹ و با وصل بودن کلید مقدار A_{V_s} برابر با ۰/۹۹ به دست آمده است. مقاومت ورودی R_{in} با وصل بودن کلید چقدر است؟ (در صدل حل شود.)



($R_1 \| R_2 = 11k\Omega$ ، $Q_1 = Q_2$ ، $\beta = h_{fe} =$ بزرگ)

۱) ۹,۹ kΩ

۲) ۹۹ kΩ

۳) ۹,۹ MΩ

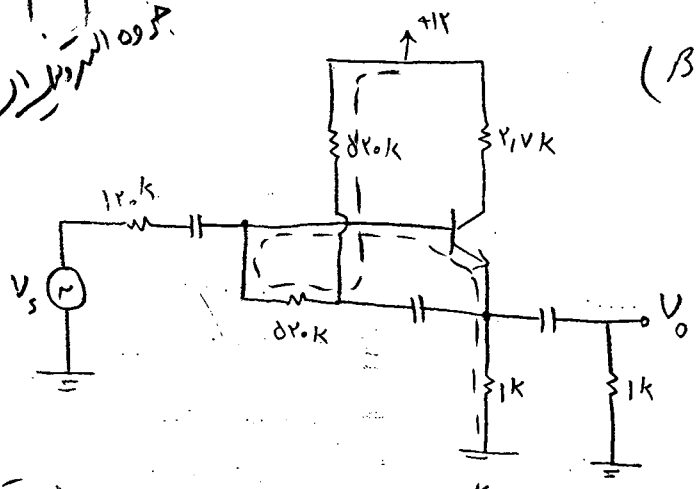
۴) ۹۹۰ kΩ ✓

LearnElement.ir

۴۵/ برق ۸۸) در مدار شکل مقابل، در فرکانس‌های میانی مقدار $A_v = \frac{v_o}{v_s}$ به کدام مورد نزدیک‌تر است؟

($\beta = 100$, $V_{BE} = 0.7V$, $V_T = 25mV$, $V_A = \infty$)

۱) ۰/۲۹ ۲) ۰/۴۹ ۳) ۱/۶۸ ۴) ۱/۰۹

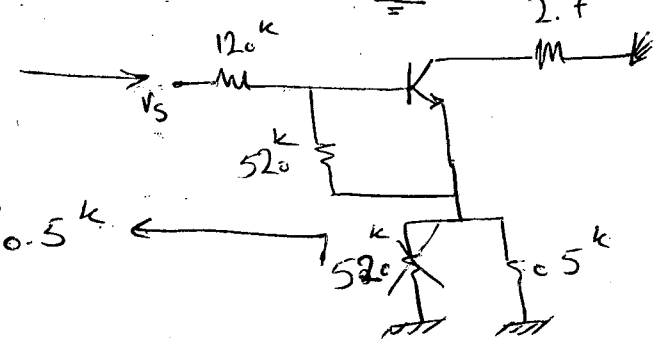


مدار dc

$$I_C = \frac{12 - 0.6}{1k + \frac{52.0 + 120}{\beta}} \approx 1mA$$

$$r_e = 25\Omega$$

مدار ac

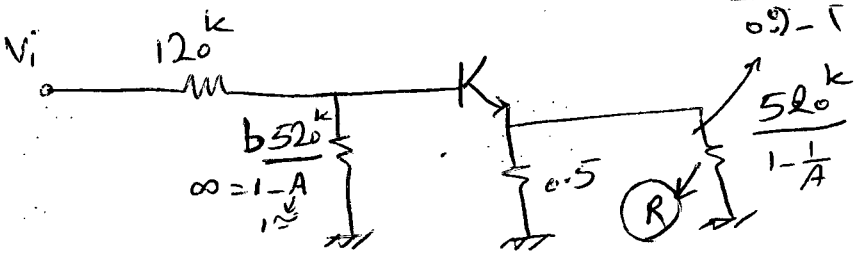


$52.0^k || 0.5^k \approx 0.5^k$

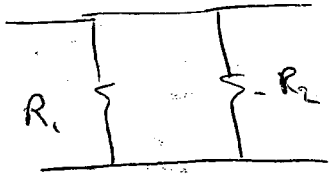
طبق تقسیم ولتاژ:

$$\frac{0.9 \times 52.0^k}{0.9 - 1} = -52.0^k$$

$A = \frac{v_o}{v_i}$



مقاومت معادل



علامت مقاومت دقیقاً از لحاظ اندازه تعیین کننده علامت R_T است.

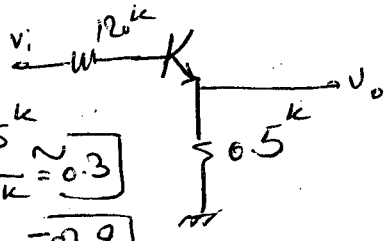
$$R_T = R_1 || -R_2 = \frac{R_1 \times -R_2}{R_1 + (-R_2)} = \frac{R_1 R_2}{R_2 - R_1}$$

$|R_2| > |R_1| \Rightarrow R_T > 0$ $\quad R_1 < R_T < \infty$

$|R_2| < |R_1| \Rightarrow R_T < 0$

R_T مثبت از دقیق‌ترین مقاومت نزدیک‌تر است.

ادامه مسئله ← حال R خیلی بزرگ شده می‌تواند:

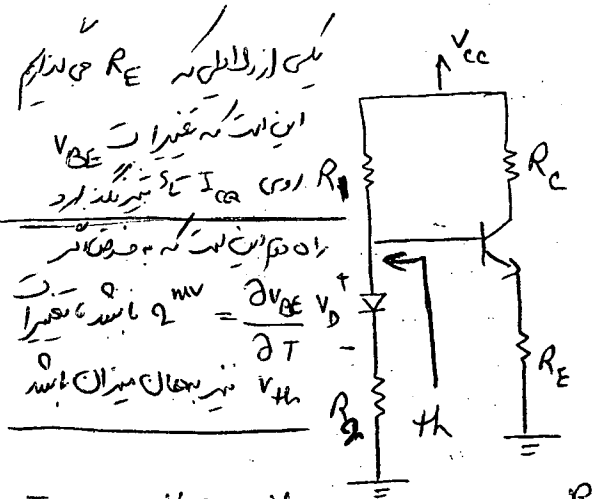


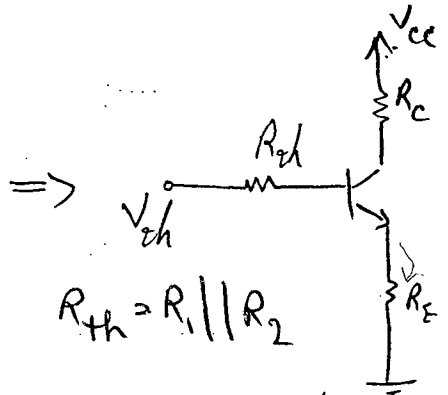
$$\frac{v_o}{v_s} = -\frac{0.5^k}{0.5^k + 1.2^k + \frac{120^k}{\beta}} \cdot \frac{0.5^k}{0.5^k + 1.2^k} \cdot \frac{0.5^k}{0.5^k + 1.7^k} \approx -0.3 = -0.29$$

LearnElement.ir

جبران سازی تغییرات حرارتی جریان کلکتور :

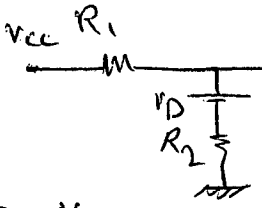
با توجه به تغییرات مقدار V_{BE} و جریان اشباع معکوس با دما می توان با طراحی برخی مدارات ، اثر تغییرات این دو پارامتر را در جریان کلکتور از بین برد :





$$R_{th} = R_1 \| R_2$$

$$I_{CQ} = \frac{V_{th} - V_{BE}}{R_E + \frac{R_{th}}{\beta}}$$

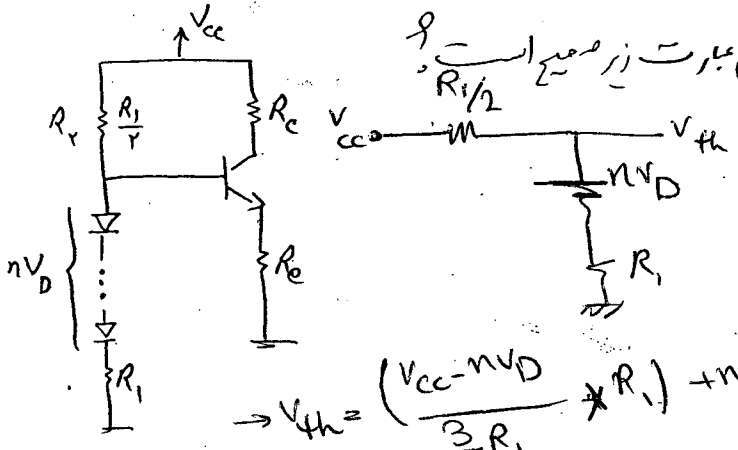


$$V_{th} = \left(\frac{V_{CC} - V_D}{R_1 + R_2}\right) \times R_2 + V_D = k_1 V_{CC} + k_2 V_D$$

$$\rightarrow I_{CQ} = \frac{k_1 V_{CC} + k_2 V_D - V_{BE}}{R_E + \frac{R_{th}}{\beta}}$$

$$\frac{\partial I_C}{\partial T} = \frac{1}{R_E + \frac{R_{th}}{\beta}} \left[k_1 \times 0 + k_2 \frac{\partial V_D}{\partial T} - \frac{\partial V_{BE}}{\partial T}\right] = 0$$

برق ۸۲-) در شکل زیر جریان نقطه کار I_{CQ} باید تا حد مستقل از تغییرات دما باشد. با فرض اینکه β ثابت و $I_{CBO} \approx 0$ و $\frac{\Delta V_{BE}}{\Delta T} = \frac{\Delta V_D}{\Delta T} \neq 0$ است. کدام عبارت زیر صحیح است؟



۱) تعداد کار با $n=4$ تثبیت می شود

۲) تعداد کار با $n=3$ تثبیت می شود

۳) تعداد کار با $n=2$ تثبیت می شود

۴) تعداد کار با $n=1$ تثبیت می شود

$$\rightarrow V_{th} = \left(\frac{V_{CC} - nV_D}{\frac{3}{2}R_1} \times R_1\right) + nV_D \rightarrow V_{th} = \frac{2}{3}V_{CC} + \frac{1}{3}nV_D$$

$$\rightarrow I_{CQ} = \frac{\frac{2}{3}V_{CC} + \frac{1}{3}nV_D - V_{BE}}{R_E + \frac{R_{th}}{\beta}}$$

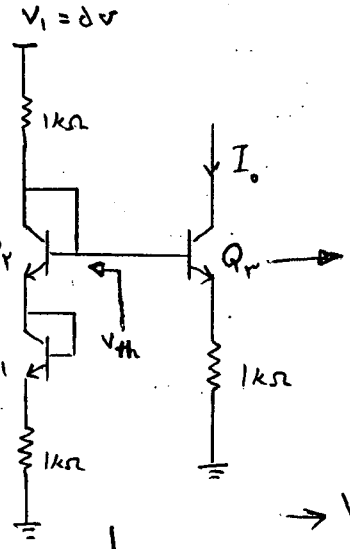
$$\rightarrow \frac{\partial I_C}{\partial T} = \frac{1}{R_E + \frac{R_{th}}{\beta}} \left[\frac{n}{3} \times \frac{\partial V_D}{\partial T} - \frac{\partial V_{BE}}{\partial T}\right] = 0 \rightarrow \frac{\partial V_{BE}}{\partial T}\left[\frac{n}{3} - 1\right] = 0$$

$\frac{\partial V_D}{\partial T} \neq 0$ فرض شده $\quad \frac{\partial V_{BE}}{\partial T} \neq 0$ $\rightarrow \boxed{n = 3}$

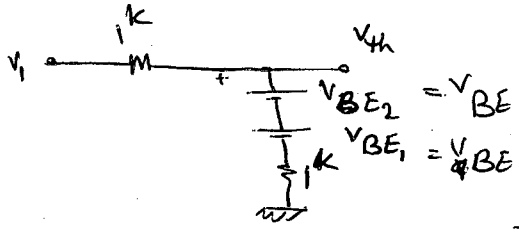
LearnElement.ir

(برق - ۹۰) در مدار مقابل که یک منبع جریان DC را نشان می دهد، در صورتیکه تغییرات ولتاژ بیس-امیتر با دما $\frac{\partial V_{BE}}{\partial T} = -۲ \frac{mV}{°C}$ و تغییرات V_1 با دما $\frac{\partial V_1}{\partial T} = +۵ \frac{mV}{°C}$ باشد، میزان تغییرات جریان خروجی (I_o) با مرجه حرارت چند میلی‌آمپر بر درجه سانتی‌گراد ($\frac{MA}{°C}$) خواهد بود؟ (از تغییرات مقاومت ها با دما صرفه‌نظر کنید)

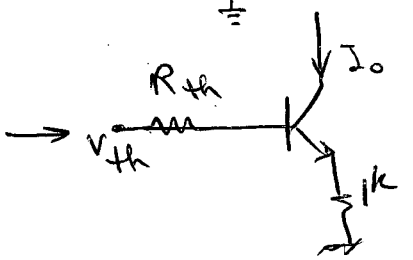
۱) ۰ ۲) ۱٫۵ ۳) ۳ ۴) ۲٫۵



$$\frac{\partial I_o}{\partial T} = ? \frac{MA}{°C}$$



$$\rightarrow V_{th} = \left(\frac{V_1 - 2V_{BE}}{2^K}\right) \times 1^K + 2V_{BE} = 0.5V_1 + V_{BE}$$



$$\rightarrow I_{CQ} = \frac{V_{th} - V_{BE}}{R_E + \frac{R_{th}}{\beta}} \Rightarrow I_o = I_C = \frac{(0.5V_1 + V_{BE_{1,2}}) - V_{BE_3}}{R_E + \frac{R_{th}}{\beta}}$$

$$\rightarrow \frac{\partial I_o}{\partial T} = \frac{1}{1^K + \frac{0.5}{500}} \left[0.5 \frac{\partial V_1}{\partial T} + \frac{\partial V_{BE_{1,2}}}{\partial T} - \frac{\partial V_{BE_3}}{\partial T}\right]$$

صرفه‌نظر

تغییرات این‌ها هم برابرند:

$$\frac{\partial I_o}{\partial T} = \frac{1}{1^K} \cdot 5 \times 5 \frac{mV}{m°C} = 2.5 \frac{MA}{°C}$$

LearnElement.ir

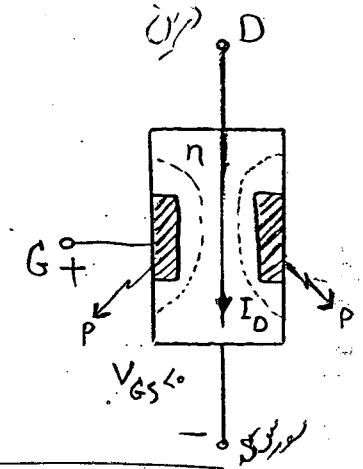
« ترانزیستورهای اثر میدانی FET »

جزوه الکترونیک ۱ استاد باعث‌الفی (پائیز ۱۳۹۰)

- ترانزیستورهای JFET :

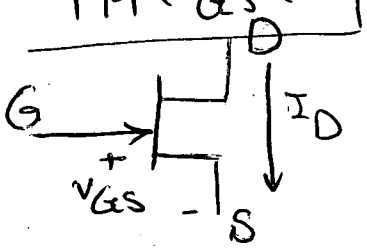
در این نوع ترانزیستور (نوع n کانال) ویفری که درین قرار دارد بالاتری قرار دارد

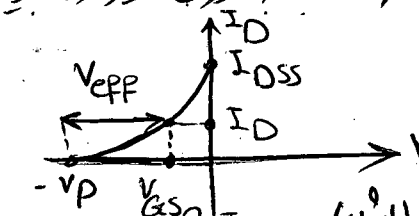
درین دو دیگری سورس است (جریان همیشه از ولتاژ بالاتر به ولتاژ پایین‌تر برقراری شود)



در صورتیکه ولتاژ گیت کمتر از ولتاژ سورس باشد ($V_{GS}<0$) حول ویفر n-p یک ناحیه تخلیه ایجاد می‌شود که باعث محدود شدن (کم‌تر شدن) جریان درین به سورس می‌شود. V_p همیشه یک مقدار منفی دارد. درین در ولتاژ بالاتری نسبت به سورس قرار دارد. و جریان از درین به سورس منتقل می‌شود

$$-|V_p| < V_{GS} < 0$$



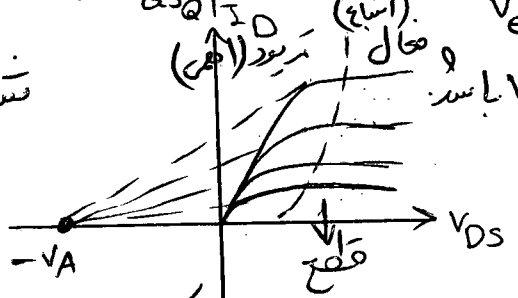


$$I_D = I_{DSS}\left[1 - \frac{V_{GS}}{V_p}\right]^2$$

$$V_{eff} = |V_p| - |V_{GS}|$$

شرط جریان دهی: $V_{eff} > 0$

شرط جریان دهی این است که V_{eff} باشد

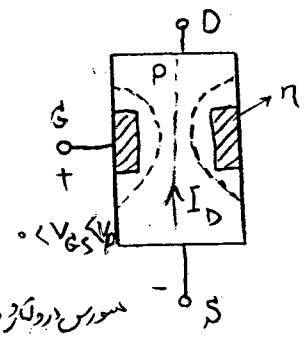


$$r_d = r_o = \frac{V_A}{I_D}$$

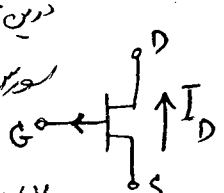
شرط لازم برای اینکه ترانزیستور FET در ناحیه فعال یا اشباع باشد این است که $V_{DS} > V_{eff}$ باشد و شرط این که ترانزیستور در ناحیه تریودی یا اهمی باشد این است که $V_{DS} < V_{eff}$ باشد.

شرط ناحیه فعال یا اشباع $\rightarrow V_{DS} > V_{eff} \rightarrow I_D = I_{DSS}\left[1 - \frac{V_{GS}}{V_p}\right]^2$

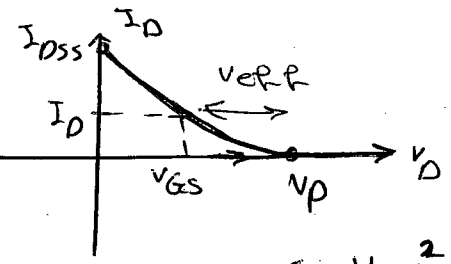
شرط ناحیه تریودی یا اهمی $\rightarrow V_{DS} < V_{eff}$



سورس در ولتاژ بالاتری نسبت به درین قرار دارد، جریان از سورس به درین می‌رود.



$$\begin{cases} I_D = I_{DSS}\left[1 - \frac{V_{GS}}{V_p}\right]^2 \\ V_{eff} = |V_p| - |V_{GS}| \end{cases}$$



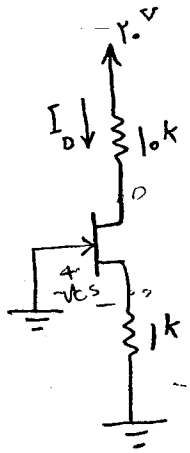
شرط ناحیه اشباع (فعال) $\rightarrow V_{SD} > V_{eff} \rightarrow I_D = I_{DSS}\left[1 - \frac{V_{GS}}{V_p}\right]^2$

شرط ناحیه تریودی (اهمی) $\rightarrow V_{SD} > V_{eff}$

LearnElement.ir

۴۹

در مدار روبرو I_D چند میلی آمپر است؟ $I_{DSS}=4mA$ ، $V_p=-2V$



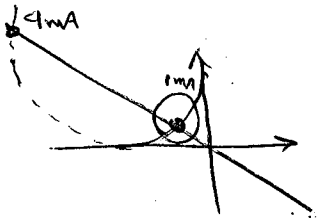
۱) ۵٪ ۲) ۱ ۳) ۲ ۴) ۴

$V_{GS}=0-(1^k \times I_D)=-I_D$

$\rightarrow I_D=I_{DSS}\left[1-\frac{V_{GS}}{V_p}\right]^2=\left[1-\frac{+I_D}{+2}\right]^2\times 4$

$\rightarrow I_D=4+I_D^2-4I_D$

$\rightarrow I_D^2-5I_D+4=0 \rightarrow (I_D-4)(I_D-1)=\begin{cases} I_D=1mA \\ I_D=4mA \end{cases}$

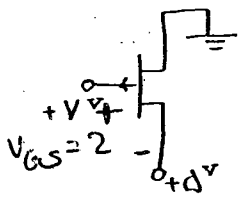


برای JFET مقداری از I_D قابل قبول است که بزرگتر باشد (طبق شکل): از طرف جواب مورد قبول است که $V_G<V_p$ باشد پس آمپر ۴ نمی‌گذاریم غلط است.

یک عدد مثبت است

$V_G-V_S=-I_D$ ← عنی $|V_p|<0$ ← V_{GS} منفی است چون n کانال است

(کاردانی به کارشناسی ۹۸-آزاد) در شکل داده شده با فرض $|V_p|=3V$ ترانزیستور FET در چه ناحیه‌ای کار می‌کند؟



۱) اشباع ۲) تریود ۳) قطع ۴) مرز بین اشباع و تریود

$V_{eff}=|V_p|-V_{GS}=3-2=1$

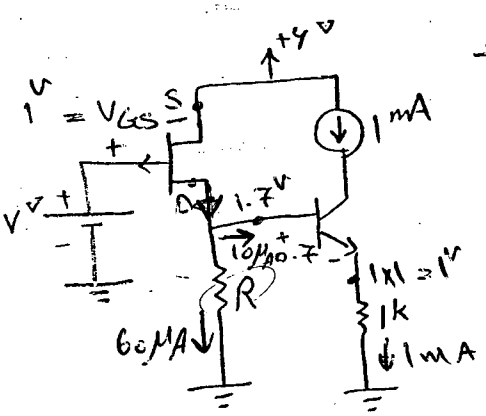
$\rightarrow V_{SD}=5-0=5$

$\Rightarrow V_{SD}>V_{eff}$ ← ناحیه فعال یا اشباع

اگر $V_{SD}=V_{eff}$ شود مرز بین اشباع و تریود است.

برق - ۸۰) مقدار مقاومت R در مدار شکل زیر به کدام گزینه نزدیک‌تر است؟ (برحسب kΩ)

$\beta=100$ ، $|I_{DSS}|=120\mu A$ ، $V_p=4V$ ، $V_{BE}=0.7V$ ، $V_{CE(sat)}=0.2V$



$\rightarrow I_D=120\left[1-\frac{1}{4}\right]^2=70\mu A$

$I_B=\frac{1mA}{\beta}=\frac{70\mu A}{2}\approx 10\mu A$

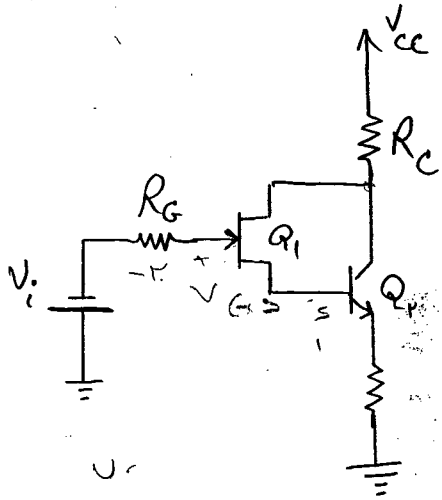
$\rightarrow R=\frac{1.7V}{60\mu A}\approx 30k\Omega$

۱) ۴۰۰۰
۲) ۳۰
۳) ۱۵
۴) ۲٫۷

LearnElement.ir

۵۰/

کاردانی به کارشناسی - ۸۸) در شکل مقابل، با افزایش V_i (در حال تقویت) ترانزیستور Q_1 ------ و ترانزیستور Q_2 ------ می‌شود



۱) قطع - قطع

۲) اشباع - قطع

۳) قطع - اشباع

۴) اشباع - اشباع

$V_{DS} > |V_P| - |V_{GS}|$

$V_{CE} > 0$

$|V_P| - |V_{GS}| > 0$

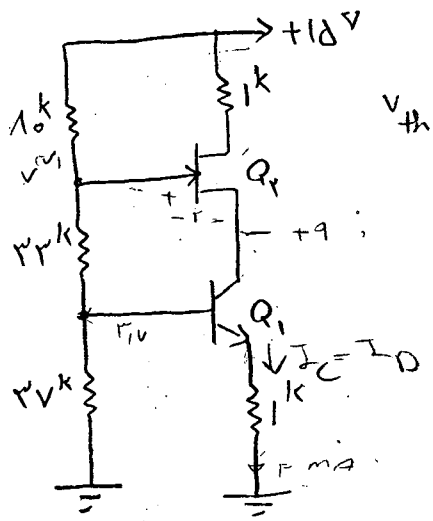
برق - ۸۳) در مدار شکل زیر، ولتاژ نقطه کار V_{CEQ} را مشخص کنید. زرگ

BJT: $V_{BE} = 0.7V$, β:

FET: $I_{DSS} = 12mA$, $V_P = -4V$

$I_C = \frac{3.7 - 0.7}{1k} = 3mA$

$V_{th} = \frac{80 \times 15 \times 37}{37 + 33 + 80} = 3.7$



$3 = 12\left[1 - \frac{V_{GS}}{-4}\right]^2$

$2V_{CEQ} = 15 - 3 \times (1 + 1) =$

۱) $V_{CEQ} = 1V$

۲) $V_{CEQ} = 4V$

۳) $V_{CEQ} = 2V$

۴) $V_{CEQ} = 6V$ (۴)

$I_D = 12\left(1 - \frac{V_{GS}}{-4}\right)^2 = 3$

$\pm\frac{1}{2} = 1 + \frac{V_{GS}}{4} \rightarrow V_{GS} = -4 \pm 2$

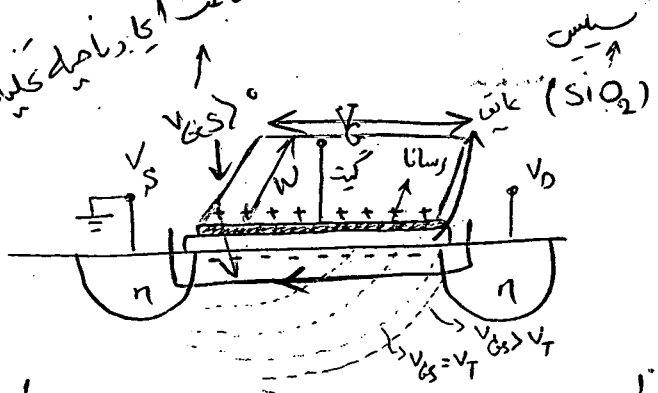
V_{GS} غ ق ق -2

V_{GS} غ ق ق -6

LearnElement.ir

بررسی ترانزیستورهای اثر میدانی MOSFET

۱) ساختار NMOS:

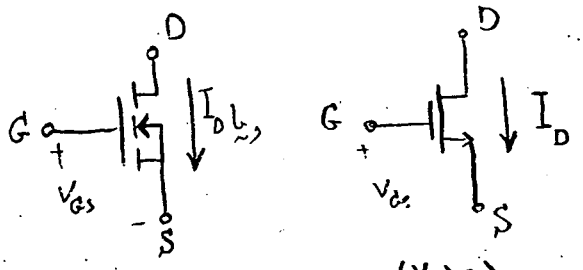


در این نوع ترانزیستور NMOS بر روی بستر P دو چاه n قرار می‌گیرد که هرکدام می‌توانند نقش درین یا سورس را ایفا کنند [بستگی به ولتاژ هرکدام] (درین جایی است که ولتاژ DC در پایه ولتاژ بالاتری نسبت به سورس قرار گیرد.)

W ← پهنای کانال و L طول کانال است.

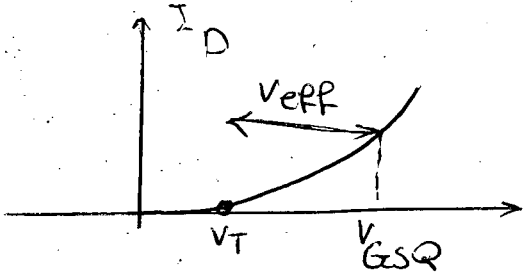
(بستر P)

با افزایش ولتاژ گیت نسبت به سورس، یک ناحیهٔ تخلیه در زیر عایق گیت در بستر P به وجود می‌آید. هرچقدر این ولتاژ V_{GS} افزایش یابد ناحیهٔ تخلیه نیز بزرگتر می‌شود. به طوریکه در یک ولتاژ خاص ($V_{GS}=V_T$) چاه‌های درین و سورس به یکدیگر وصل می‌شوند



از این ولتاژ به بعد ($V_{GS}>V_T$) جریان درین به سورس برقرار می‌شود

برای مشخص کردن ناحیهٔ کار ترانزیستور ولتاژ موثر را به صورت $V_{eff}=|V_{GS}|-|V_T|$ تعریف می‌کنیم بنابراین: شرط حیات دهی: $V_{eff}>0$



شرط ناحیه اشباع یا فعال: ① $V_{DS}>V_{eff}$

شرط ناحیه تریودی یا اهمی: ② $V_{DS}<V_{eff}$

① $\rightarrow I_D=\frac{1}{2}\underbrace{\mu_n C_{ox}}_{k}\left(\frac{W}{L}\right)\left[V_{GS}-V_T\right]^2\left(1+\frac{V_{DS}}{V_A}\right)$

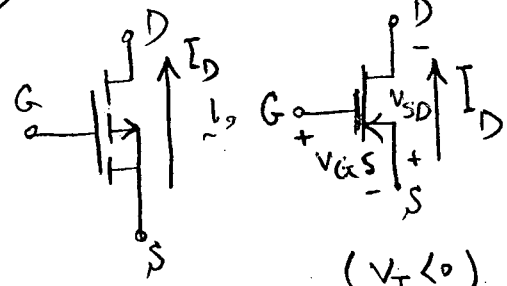
$=k\left[V_{GS}-V_T\right]^2\left(1+\frac{V_{DS}}{V_A}\right)$ & $\frac{1}{V_A}=\lambda$

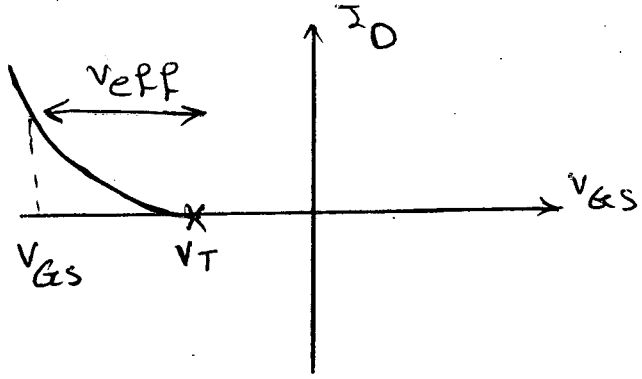
$\rightarrow \frac{1}{V_A}=\lambda$

واحد k، $\left(\frac{mA}{V^2}\right)$ است.

② $\rightarrow V_{DS}<V_{eff} \rightarrow I_D=\frac{1}{2}\mu_n C_{ox}\left(\frac{W}{L}\right)\left[2(V_{GS}-V_T)V_{DS}-V_{DS}^2\right]$

LearnElement.ir





$V_{eff} = |V_{GS}| - |V_T|$ $(V_T < 0)$

شرط جریان‌دهی : $V_{eff} > 0$

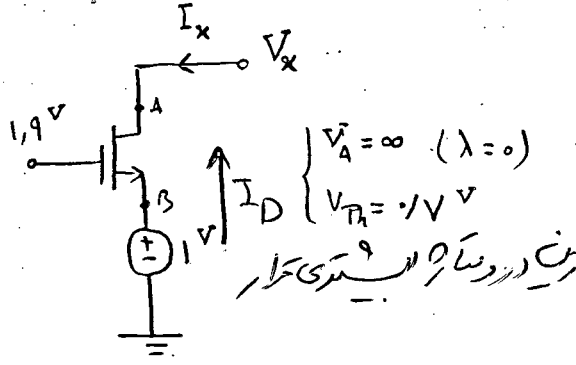
شرط ناحیه فعال (اشباع) : $V_{SD} > V_{eff} \rightarrow I_D = \frac{1}{2}\mu_p C_{ox}\left(\frac{W}{n}\right)[V_{GS} - V_T]^2$

شرط ناحیه اهمی (تریود) : $V_{SD} < V_{eff}$

مثال (تمرین کتاب دکتر رضوی) :

در مدارات زیر I_x را بر حسب V_x رسم کنید $(0 < V_x < 3^V)$

سورس باید دیتاژ کمتری نسبت به درین داشته باشد



اگر $0 < V_x < 1$ → سورس A، درین B

جریان در nmos از درین به سورس است. پس درین دیتاژ بیشتری خواهد داشت.

$V_{GS} = 1.9 - V_x =$

$\begin{cases} V_{eff} = V_{GS} - V_T = (1.9 - V_x) - (0.7) = 1.2 - V_x \\ V_{DS} = 1 - V_x \end{cases}$ ① ②

حون $1 < V_x$ است شرط جریان‌دهی برقرار است. $\xrightarrow{\text{شرط جریان‌دهی}} V_{eff} > 0$

①, ② $\rightarrow V_{DS} > V_{eff}$ ✗ → ناحیه تریودی $(V_{eff} > V_{DS})$

$\rightarrow I_D = \overbrace{\frac{1}{2}\mu_n C_{ox}\left(\frac{W}{n}\right)}^{k}\left[(V_{GS} - V_T)V_{DS} - V_{DS}^2\right] = k\left[2(1.2 - V_x)(1 - V_x) - (1 - V_x)^2\right]$

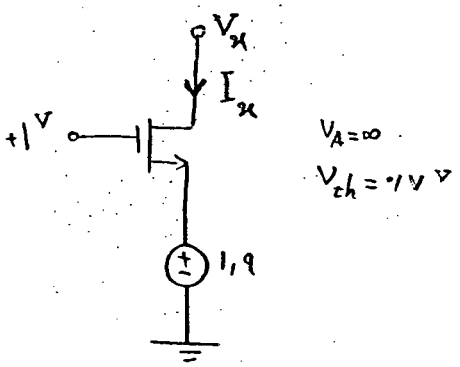
$= k(1 - V_x)\left[2.4 - 2V_x + 1 + V_x\right]$

LearnElement.ir

$I_x = -I_D = -k(1 - V_x)(1.4 - V_x)$ ؛ $0 < V_x < 1$

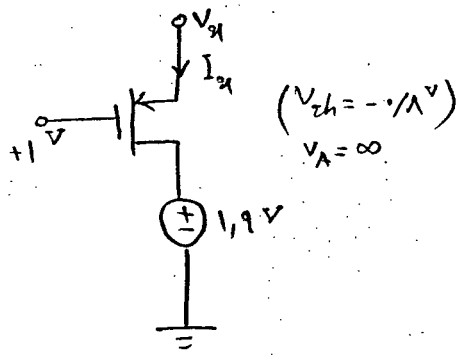
(جزوه الکترونیک استاد باغستانی ۱۳۹۰)

ب)



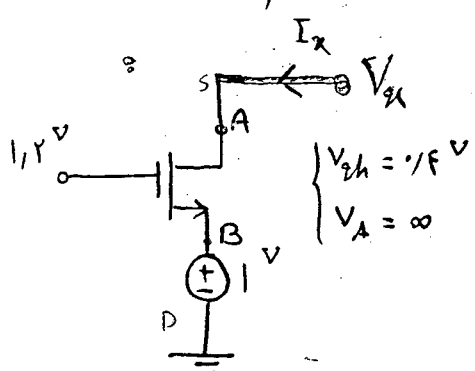
LearnElement.ir

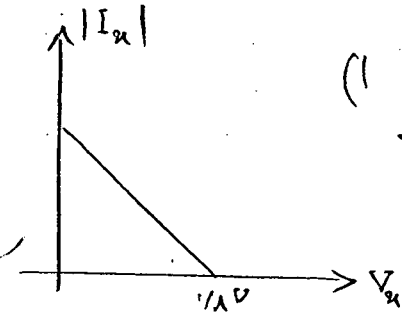
۲۰)

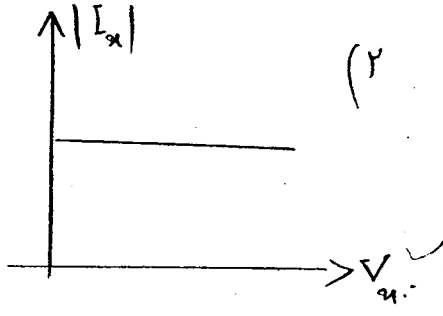


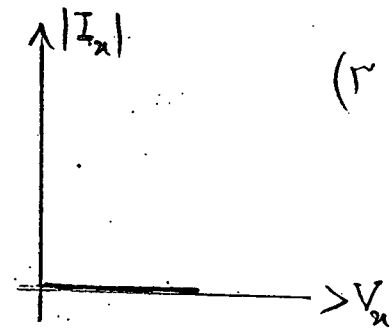
LearnElement.ir

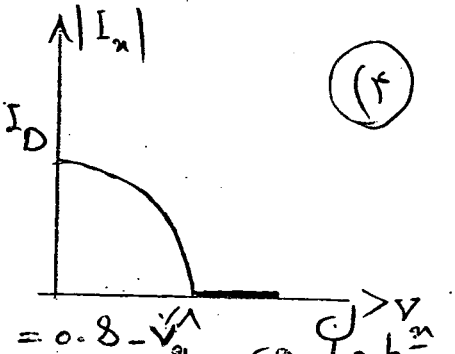
برق -۸۸) در مدار شکل زیر قدر مطلق شکل موج جریان I_x بر حسب V_x برابر با کدام گزینه است؟



۱)


۲)


۳)


۴)


if $V_x < 1$ → A: سورس، B: درین

$V_{GS} = 1.2 - V_x$

$V_{eff} = V_{GS} - V_T = (1.2 - V_x) - (0.4) = 0.8 - V_x$

$V_{DS} = 1 - V_x \rightsquigarrow (1 - V_x)$ $0.8 - V_x$

شرط جریان دهی $V_{eff} > 0$ → $0.8 - V_x > 0 \rightarrow V_x < 0.8$

→ if $V_x > 0.8$ → جریان دهی برقرار نیست

$\rightarrow V_{DS} > V_{eff}$ $\xrightarrow{0 < V_x < 1}$ ناحیه اشباع

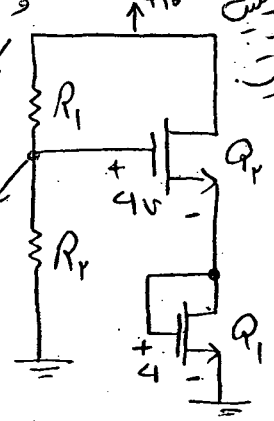
ترانزیستور خاموش است

$\rightarrow I_D = \frac{1}{2}\mu_n C_{ox}\left(\frac{W}{L}\right)\left[V_{GS} - V_T\right]^2 \Rightarrow I_D = |I_x| = \boxed{k\left[0.8 - V_x\right]^2} \quad : 0 < V_x < 0.8$

$\boxed{I_D = 0} \quad : V_x > 0.8$

(شکل در صفحه‌ی بعد)

برق -۸۸) در مدار شکل مقابل $k = \frac{1}{2}\mu_n C_{ox}\frac{W}{L} = 0.125 \frac{mA}{V^2}$ و $V_t = 2$ V، برای اینکه جریان درین Q_1 برابر 1mA باشد



مقدار R_1 و R_2 برابر کدام مورد زیر می‌تواند باشد؟ چون Q_1, Q_2 سرسینی هستند و V_T و k هم برای هر دو یکی است پس طبق رابطه (۱) V_{GS} هر دو هم برابر است

$4 + 4 = 8$ V

جریان آنها هم برابر است.

۱) $R_1 = R_2 = 2\,M\Omega$ ✗

۲) $R_2 = 3\,M\Omega$, $R_1 = 2\,M\Omega$ ✓

۳) $R_2 = 2\,M\Omega$, $R_1 = 4\,M\Omega$ ✗

۴) $R_2 = 4\,M\Omega$, $R_1 = 4\,M\Omega$ ✗

$I_{D_1} = I_{D_2} \Rightarrow$ (۱) $I_D = k\left[V_{GS} - V_T\right]^2 \rightarrow V_{GS_1} = V_{GS_2}$

$1mA = \frac{1}{2}\left[V_{GS} - 2\right]^2 \rightarrow V_{GS} - 2 = 2$

$\boxed{V_{GS} = 4}$

$\rightarrow 8 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times 20 \rightarrow 2R_1 + 2R_2 = 5R_2$

$2R_1 = 3R_2 \rightarrow \frac{R_1}{R_2} = \frac{3}{2}$ یا $\frac{6}{4}$

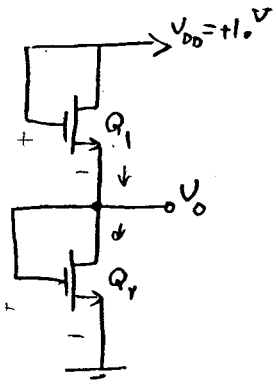
LearnElement.ir

Q_1, Q_2 هردو اشباع $\rightarrow V_{GS_1} = V_{GS_2}$

جزوه آلستر و تمرینات استادباغستانی ۱۳۹۰

کاردانی به کارشناسی (آزاد ۸۲) : در شکل داده شده ولتاژ V_o چند ولت است؟ (فرض کنید : $k = 0.5 \frac{mA}{V^2}$ ، $|V_T| = 1^V$)

(شبیه اتوماسیون ۸۷)



۱) صفر ۲) ۱۰ ۳) ۵ ۴) ۱

$$V_{GS_1} = V_{GS_2}$$

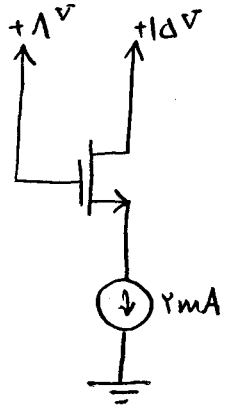
$$10 - V_o = V_o - 0$$

$$\rightarrow 10 = 2V_o \rightarrow \boxed{V_o = 5}$$

کاردانی به کارشناسی ۸۸) باتوجه به شکل مقابل، توان تلف شده در ترانزیستور برحسب میلی وات چقدر است؟

$$I_D = k(V_{GS} - V_t)^2 \quad , \quad V_t = 2^V \quad , \quad k = 0.5 \frac{mA}{V^2}$$

حل در فیلم



۱) ۱۲ ۲) ۲۴ ۳) ۳۶ ۴) ۴۸

$$P_T = V_{CE} \cdot I_C$$

$$P_T = V_{DS} \cdot I_D \rightarrow P_T = 2 \cdot V_{DS} = 2 \times 12 = \boxed{24}$$

$$I_D = 2 = \frac{1}{2}(V_{GS} - V_t)^2$$

$$\rightarrow \pm 2 = V_{GS} - 3 \rightarrow V_{GS} = \begin{cases} 5 \checkmark \\ 1 \end{cases}$$

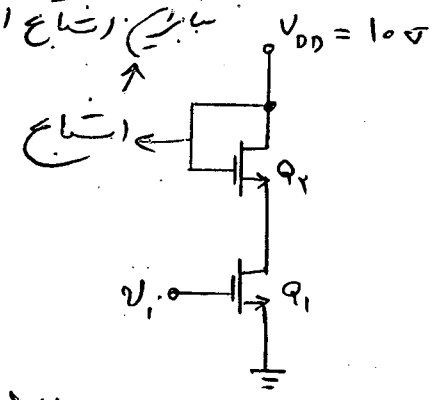
$$V_{eff} = V_{GS} - V_T > 0 \rightarrow 5 - 3 > 0 \checkmark$$

$$\rightsquigarrow V_S = V_G - V_{GS} = 3^V \rightarrow V_{DS} = 15 - 3 = 12$$

LearnElement.ir

حزوه کنکور زمستان استاد باغستانی (تابستان ۱۳۹۰)

برق-۷۹) در شکل مقابل ترانزیستورهای MOSFET ارتقایی بوده و پارامترهای آنها معلوم است. حوزهٔ تغییرات V_i که باز آن تقویت کننده در ناحیه Pinch off باقی می‌ماند چقدر است؟



حون کمتاه ترین وصل شده است
بنابراین استاد است.

Q_1: $k_1 = 4 \frac{mA}{V^2}$, $V_{T_1} = 2V$

Q_2: $k_2 = 1 \frac{mA}{V^2}$, $V_{T_2} = 2V$

۱) $2 < V_i < 4.4V$

۲) $2 < V_i < 4.4V$

۳) $2 < V_i < 3.4V$

۴) $0 < V_i < 1.4V$ ✗

$V_{DS_1} > V_{eff_1}$

$V_{eff} > 0 \rightarrow V_i > 2 \rightarrow$ ترنیه ۴ حذف می‌شود ✓

①

$V_{DS_1} > V_{eff_1} \rightarrow V_{D_1} - V_{S_1} > V_i - 2 \rightarrow 10 - V_{GS_2} - 0 > V_i - 2$

($V_{D_1} = 10 - V_{GS_2}$)

②, ① $\rightarrow 10 - [2V_i - 2] > V_i - 2$

$I_{D_1} = I_{D_2} \rightarrow k_1 [V_{GS_1} - V_{T_1}]^2 = k_2 [V_{GS_2} - V_{T_2}]^2 \rightarrow 4[V_i - 2]^2 = 1[V_{GS} - 2]^2$

$\rightarrow 2[V_i - 2] = [V_{GS_2} - 2]$

② $\rightarrow V_{GS_2} = 2V_i - 2$

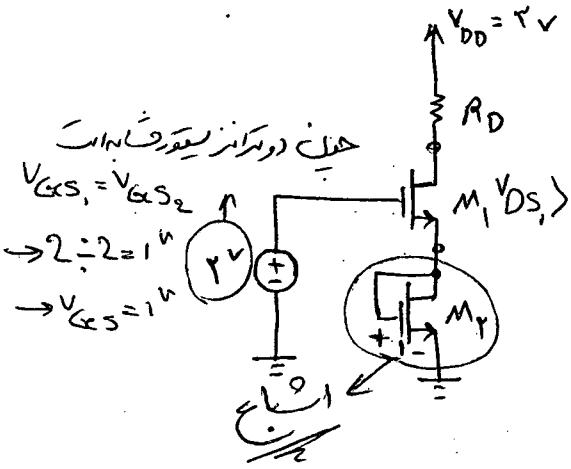
$10 - [2V_i - 2] > V_i - 2$, $V_{eff} > 0 \rightarrow V_i > 2$

$10 + 2 + 2 > 3V_i \rightarrow \begin{cases} \frac{14}{3} > V_i \\ V_i > 2 \end{cases}$

LearnElement.ir

۵ جزوه الکترونیک استاد باغستانی (تابستان ۱۴۰۱)

اتوماسیون - ۱۹) در مدار شکل مقابل بدون اینکه هیچ یک از ترانزیستورهای مدار از ناحیه اشباع خارج شوند حداکثر مقدار مقاومت R_D برحسب (kΩ) چقدر می‌تواند باشد؟



$V_{TH}=۰/۵V$

$\mu_n C_{ox}\left(\frac{W}{L}\right)_{1,2}=۴\ \frac{mA}{V^2}$

$V_A=\infty$

۱) ۱,۵

۲) ۲

۳) ۲,۵

۴) ۳

$V_{DS_1}>V_{eff_1}$

$V_{D_1}-V_{S_1}>V_{GS_1}-V_{th}$

$3-I_D R_D-1>1-0.5$

$3-\frac{1}{2}R_D>1.5$

$1.5>\frac{1}{2}R_D \rightarrow R_D<3k\Omega$

$I_D=\frac{1}{2}\mu_n C_{ox}\left(\frac{W}{L}\right)\left[V_{GS}-V_T\right]^2$

$=\frac{1}{2}\times 4\left[1-0.5\right]^2$

$I_D=0.5mA$

LearnElement.ir

جزوه الکترونیک ۱ استاد باغستانی
www.bargh-arshad.com

تحلیل AC ترانزیستورهای اثر میدانی (JFET ، MOSFET)

تعریف ترارسانایی (g_m):

$$g_m \triangleq \frac{\partial I_D}{\partial V_{GS}}$$

$$JFET: g_m = \frac{\partial}{\partial V_{GS}}\left[I_{DSS}\left(1-\frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2\right] = \frac{2I_{DSS}}{|V_P|}\underbrace{\left(1-\frac{V_{GS}}{V_P}\right)}_{①} = \frac{2I_{DSS}}{|V_P|}\sqrt{\frac{I_D}{I_{DSS}}}$$

① : $I_D = I_{DSS}\left[1-\frac{V_{GS}}{V_P}\right]^2 \rightarrow \frac{V_{GS}}{V_P} = \sqrt{\frac{I_D}{I_{DSS}}}$

$$\overset{②}{=} \frac{2}{|V_P|}\sqrt{I_D I_{DSS}}$$

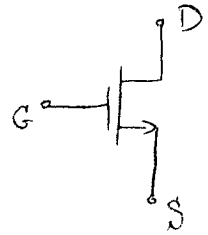
$$MOSFET: g_m = \frac{\partial}{\partial V_{GS}}\left[k(V_{GS}-V_T)^2\right] = 2k\underbrace{\left[V_{GS}-V_T\right]}_{*} = 2k\overset{③}{\sqrt{\frac{I_D}{k}}} = 2\sqrt{kI_D}$$

$$I_D = I_{DSS}\left[1-\frac{V_{GS}}{V_P}\right]^2 = \frac{I_{DSS}}{V_P^2}\left[V_P - V_{GS}\right]^2 = k_J\left[V_P - V_{GS}\right] \rightarrow \overset{④}{=} 2\sqrt{k_J I_D}$$

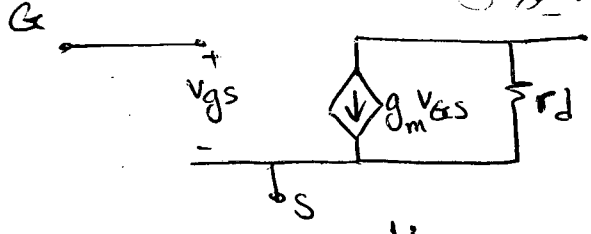
$$(*) = \sqrt{\frac{I_D}{k}} = V_{GS} - V_T$$

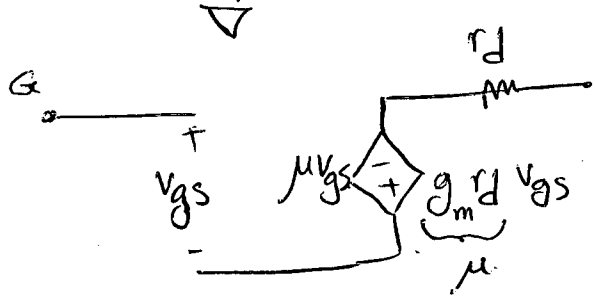
②و④ ← این دو رابطه باهم برابرند فقط ضرایب k و k_J متفاوت است.

مدار معادل ac ترانزیستورهای FET:



ac مدل
⇒





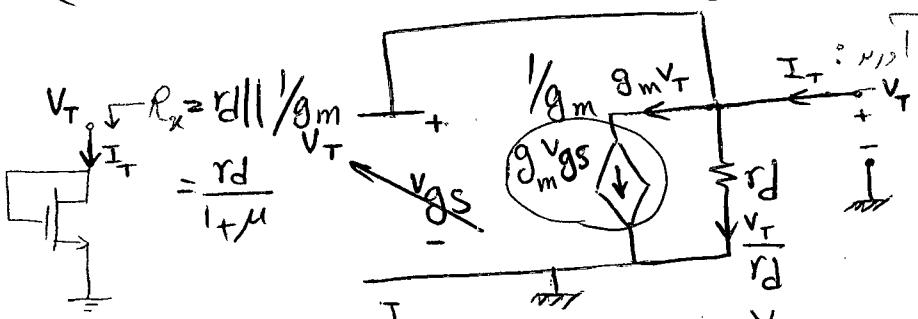
$$g_m = \begin{cases} \frac{2}{|V_P|}\sqrt{I_D I_{DSS}} = 2\sqrt{k_J I_D} & JFET \\ 2\sqrt{kI_D} & MOSFET \end{cases}$$

$$k_J = \frac{I_{DSS}}{V_P^2}, \quad k = \frac{1}{2}\mu_n C_{ox}\frac{W}{L}$$

LearnElement.ir

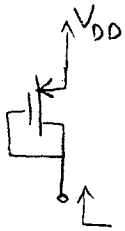
جزوه الکترونیک ۱ استاد عسگری (آذرماه ۱۳۹۰)

در مدارات زیر R_x را بدست آورید:

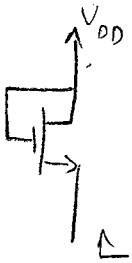


$$\rightarrow I_T = \frac{V_T}{r_d} + g_m V_T \rightarrow V_T = \frac{I_T}{g_m + \frac{1}{r_d}} \rightarrow R_x = \frac{V_T}{I_T} = \frac{r_d}{1+g_m r_d} = \frac{\frac{1}{g_m} \times r_d}{\frac{1}{g_m} + r_d} = r_d \| \frac{1}{g_m}$$

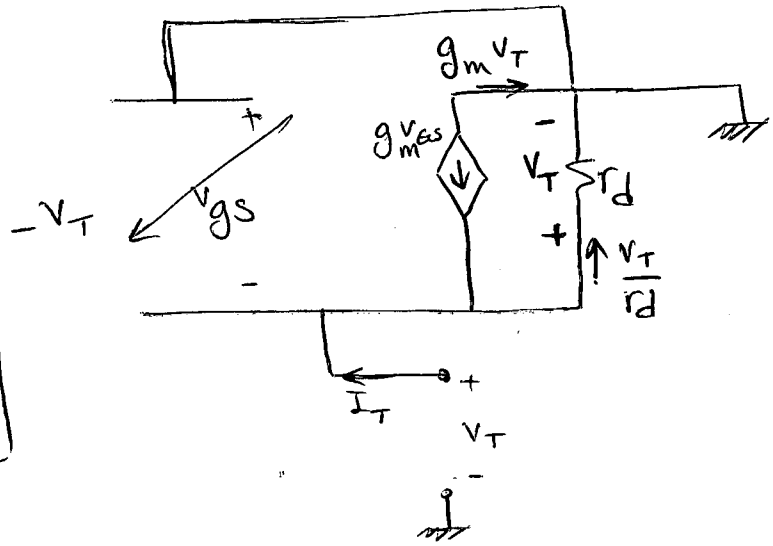
$$R_x = r_d \| \frac{1}{g_m} = \frac{r_d}{1+\mu}$$



$$R_x = r_d \| \frac{1}{g_m}$$

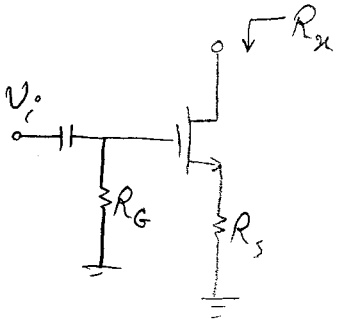


$$R_x = r_d \| \frac{1}{g_m}$$



LearnElement.ir

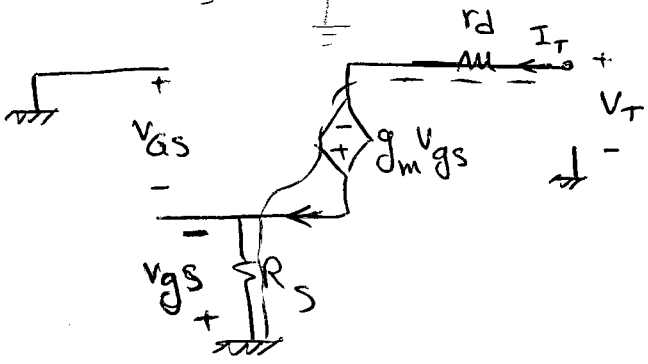
جزوه الکترونیک ۱ استاد باقرشاهی (تابستان ۱۳۹۰)
www.bargh-arshad.com



الف) اگر $r_d = \infty$:

$$r_o = r_d = \frac{V_A}{I_d} \rightarrow r_o = \infty \Rightarrow \boxed{R_x = \infty}$$

ب) اگر $r_d \neq \infty$:



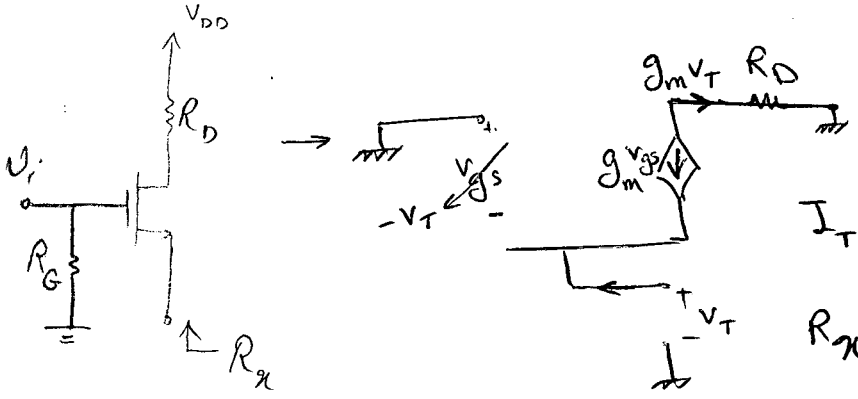
$$v_{gs} = -R_S I_T$$

$$V_T = r_d I_T - \mu v_{gs} - v_{gs} = r_d I_T - (1+\mu)v_{gs}$$

$$\rightarrow R_x = \frac{V_T}{I_T} = \boxed{r_d + (1+\mu)R_S}$$

$$\simeq r_o(1+g_m R_S)$$

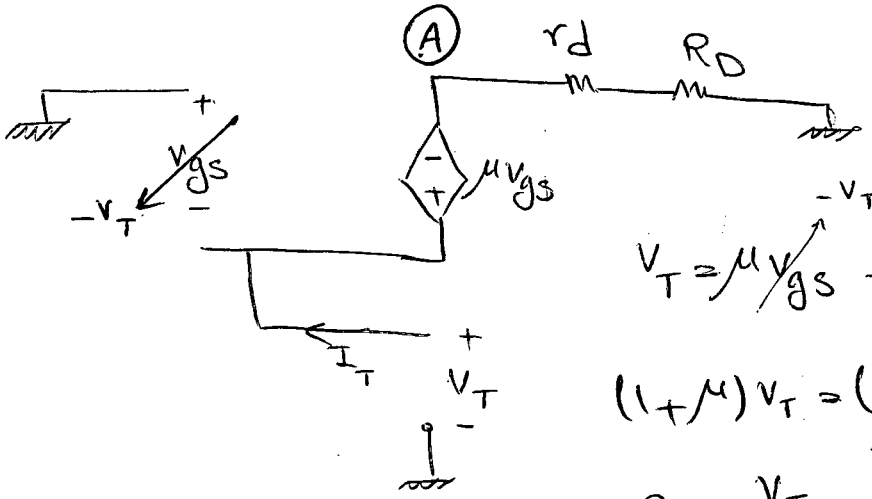
الف) اگر $r_d = \infty$:



$$I_T = g_m v_T$$

$$R_x = \frac{V_T}{I_T} = \frac{1}{g_m}$$

ب) اگر $r_d \neq \infty$:



$$V_T = \mu v_{gs} + (r_d + R_D) I_T$$

$$(1+\mu) v_T = (r_d + R_D) I_T$$

$$\rightsquigarrow R_x = \frac{V_T}{I_T} = \boxed{\frac{r_d + R_D}{\mu + 1}}$$

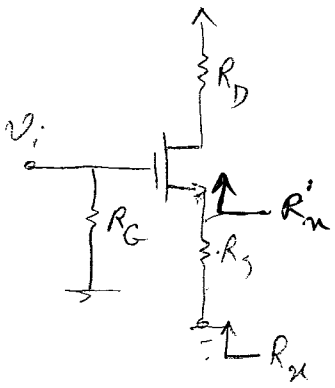
نکته (A): اگر منبع جریان ثابت r_d موازی شود آنگاه r_o و R_x تغییر نمی‌کند و r_d سری می‌شود.

$$= \lim \frac{r_d + R_D}{g_m r_d + 1} = \frac{1}{g_m}$$

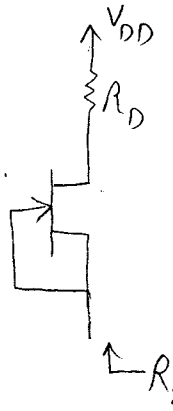
$r_d \rightarrow \infty$

LearnElement.fr

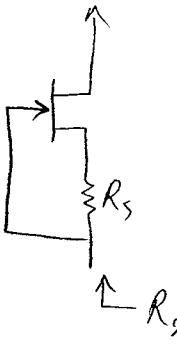
$$R_{in} = \begin{cases} \text{if } r_d = \infty \rightarrow R_S + R'_{in} = R_S + \dfrac{1}{g_m} \\ \text{if } r_d \neq \infty \rightarrow R_{in} = R_S + \dfrac{r_d + R_D}{\mu + 1} \end{cases}$$



مقاومت دیده شده برابر است با $\frac{1}{g_m}$



$$\rightsquigarrow R_{in} = \frac{R_D + r_d}{1 + \mu}$$



$(r_d \neq \infty)$

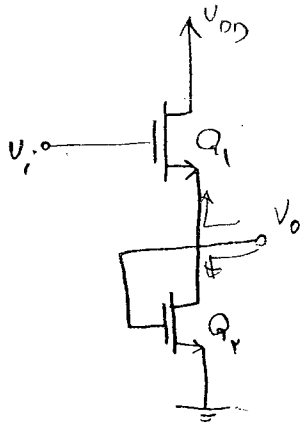
$$R_{in} = \frac{R_D + r_d}{1 + \mu} + R_S$$

LearnElement.ir

www.barqh-arshad.com

۴۳

برق-۷۷) مقاومت خروجی در مدار شکل زیر کدام است؟



۱) $\frac{\mu_2}{g_{m_1}}$

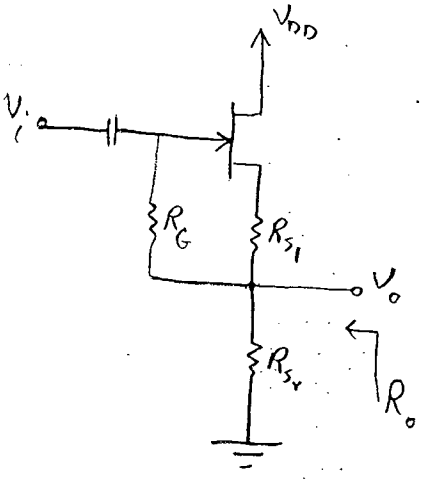
۲) $\frac{1}{g_{m_1}+g_{m_2}}$ ✓

۳) $\frac{\mu_1\mu_2}{g_{m_1}+g_{m_2}}$

۴) $\frac{1}{g_{m_1}}+\frac{1}{g_{m_2}}$

$\frac{1}{g_{m_1}} \| \frac{1}{g_{m_2}}$

برق-۷۹) برای مقاومت خروجی R_o مدار زیر، کدام گزینه صحیح‌تر است؟



۱) $(R_{S_1}+R_{S_2}) \| \frac{r_d}{1+\mu}$

۲) $R_{S_2} \| (R_{S_1}+\frac{r_d}{1+\mu})$

۳) $R_{S_2} \| \frac{R_G}{1-A_v^{-1}} \| (R_{S_1}+\frac{r_d}{1+\mu})$

۴) $R_{S_2} \| R_G \| (R_{S_1}+\frac{r_d}{1+\mu})$ ✓

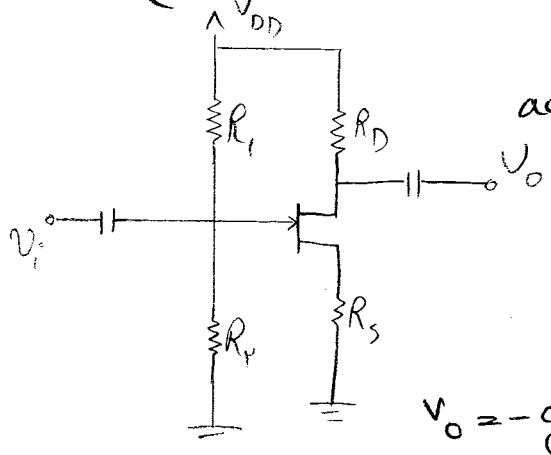
$\frac{r_d}{1+g_m r_d} \simeq \frac{1}{g_m}$

$R_{S_2} \| R_G \| (R_{S_1}+\frac{1}{g_m})$

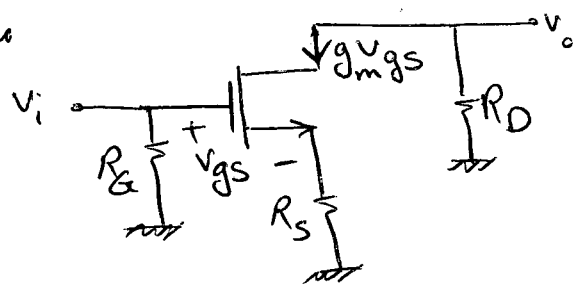
LearnElement.ir

جزوه الکترونیک استاد باعث افتخار (آقای بستان ۱۳۹۰)

مدار سورس مشترک:



مدار حالت ac



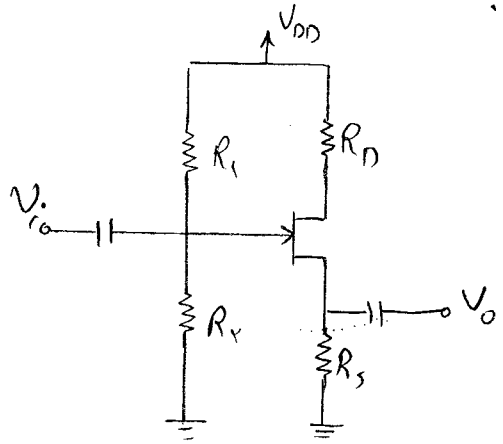
$$v_o = -g_m v_{gs} \times R_D$$

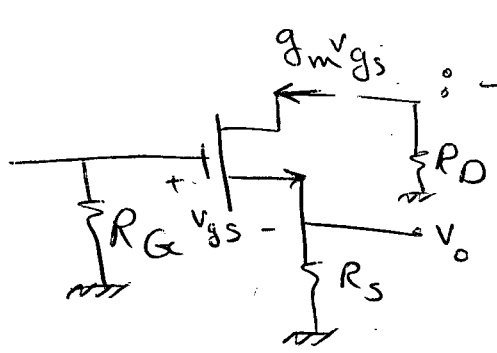
$$v_{gs} = v_i - g_m v_{gs} \times R_S$$

$$\rightarrow v_{gs} = \frac{v_i}{1+g_m R_S} \rightarrow v_o = -g_m R_D \times \frac{v_i}{1+g_m R_S} \Rightarrow \frac{V_o}{V_i} = \boxed{\frac{-g_m R_D}{1+g_m R_S}}$$

$$\xrightarrow{\text{if } R_S \approx 0} \frac{v_o}{v_i} = -g_m R_D \qquad \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_D}{R_S + \frac{1}{g_m}} = -\frac{\text{مقاومت موجود در سورس}}{\text{مقاومت معادل سورس}}$$

مدار درین مشترک:





$$v_o = +g_m v_{gs} \times R_S$$

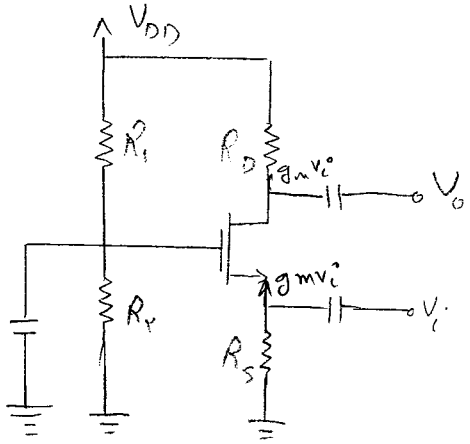
$$v_{gs} = v_i - v_{gs} \times g_m \times R_S \rightarrow v_{gs} = \frac{v_i}{1+g_m R_S} \rightarrow v_o = +g_m R_S \times \frac{v_i}{1+g_m R_S}$$

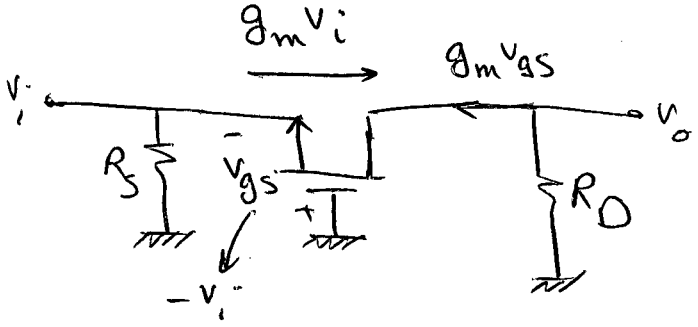
$$\rightsquigarrow \frac{v_o}{v_i} = +\frac{g_m R_S}{1+g_m R_S} < 1$$

$$\frac{V_o}{V_i} = +\frac{R_S g_m}{1+g_m R_S} \Longleftrightarrow \frac{V_o}{V_i} = \frac{\text{مقاومت موجود در سورس}}{\text{مقاومت موجود در سورس} + \text{مقاومت معادل سورس}}$$

LearnElement.ir

مدار گیت مشترک :





$$V_o = g_m v_i \times R_D \Rightarrow \frac{V_o}{v_i} = g_m R_D$$

LearnElement.ir

جزوه الکترونیک ۱ استاد بهستانی (تابستان ۱۳۹۰)

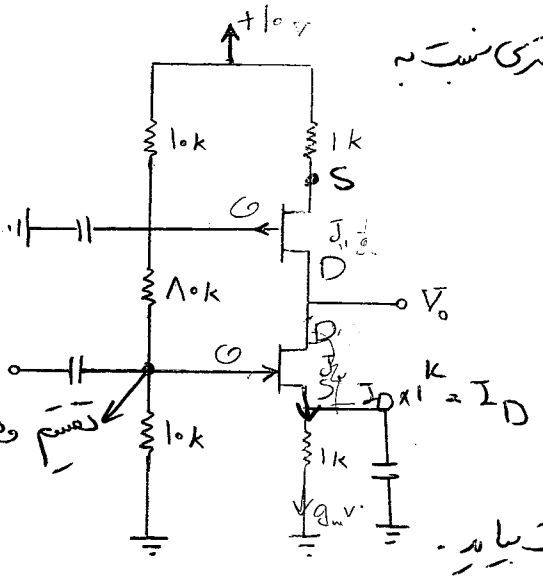
ب - ۸۹) در تقویت کننده روبرو بهره تقریبی ولتاژ $A_v = \frac{V_o}{V_i}$ کدام است؟

$I_{DSS} = 8\,mA$

$|V_p| = 2\,V$

$r_{o_1} = 100\,k\Omega$

$r_{o_2} = 10\,k\Omega$



در مدار مقابل سورس دو ترانزیستور بالاتری نسبت به درین است:

۱) -۴۰

۲) -۸۰

۳) -۲۰

۴) -۱۰

تقسیم ولتاژ: $\frac{10 \times 10}{100} = 1\,V$

DC:

J_2 off

اول باید مدار DC را انجام دهیم تا g_m دو ترانزیستور را بدست بیاوریم.

$$V_{GS} = 1 - I_D \rightarrow I_D = I_{DSS}\left[1 - \frac{V_{GS}}{V_{P_2}}\right]^2$$

$$I_D = 8\left[1 - \frac{1 - I_D}{-2}\right]^2 \rightarrow I_D = 2\left[2 + 1 - I_D\right]^2$$

اعداد صحیح ۱، ۰.۵ و ۲ را در این معادلات جدید می‌گذارم ببینم درست است یا نه:

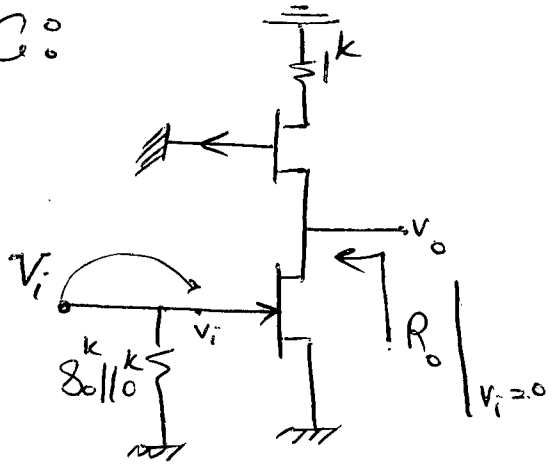
$I_{D_{1,2}} = 2 \rightarrow 2 = 2[1]^2$ ✓

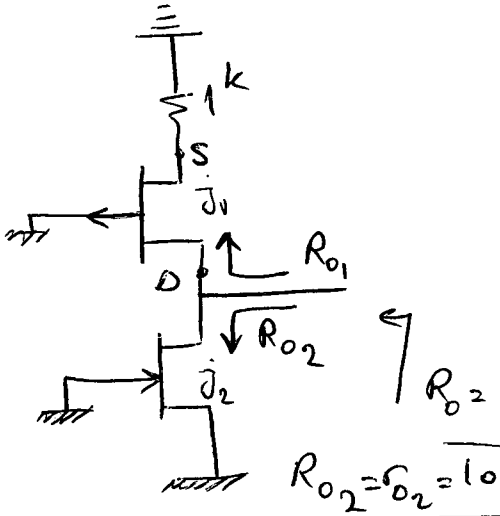
$I_{D_{1,2}}$ برای هر دو ترانزیستور یکسان است پس $g_{m_1} = g_{m_2}$

$$g_m = \frac{2}{|V_p|}\sqrt{I_D I_{DSS}} = \frac{2}{2} \times \sqrt{2 \times 8}$$

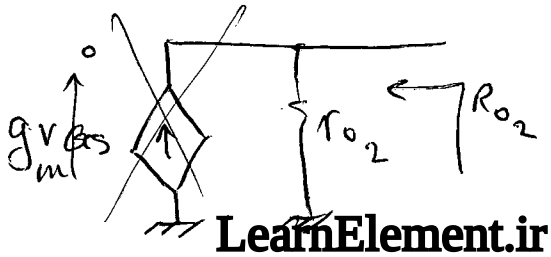
$$g_{m_{1,2}} = 4\,\frac{mA}{V}$$

AC:





$R_{o_2} = r_{o_2} = 10\,k$



$$R_{o_1} = r_{o_1} + (1 + \mu_1)R_S$$

$$= 100 + 400 \times 1 = 500\,k$$

$$R_o = 10^k \,||\, 500^k = 10^k$$

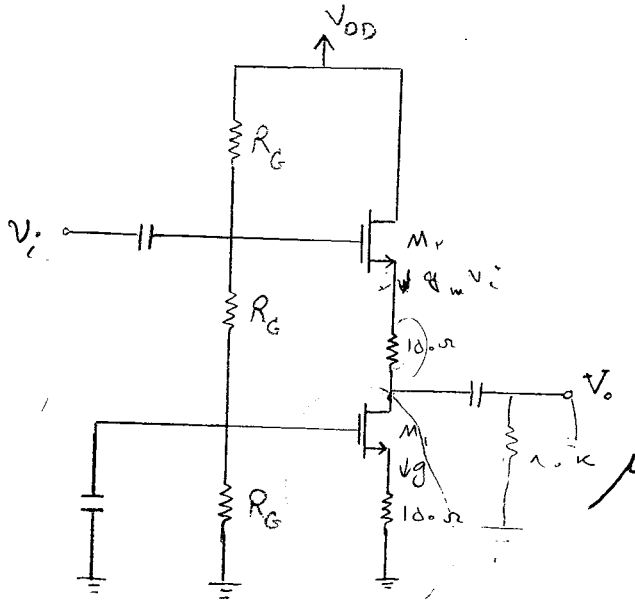
LearnElement.ir

۹۷

۸۹- برق) در مدار شکل مقابل ترانزیستورهای FET کاملاً مشابه، $g_m = 4\ \frac{mA}{V}$، $r_o = r_{ds} = 50\ k\Omega$ می‌باشد

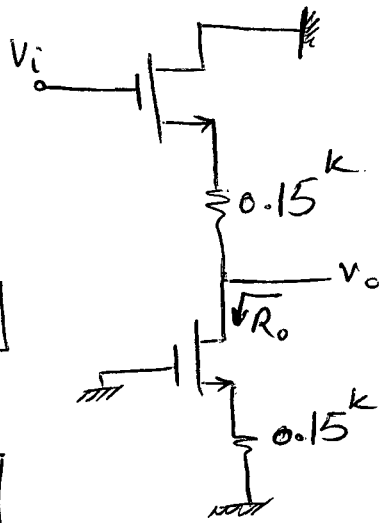
بهره ولتاژ $\frac{V_o}{V_i}$ مدار به کدام مقدار نزدیک‌تر است؟

۱) ۰/۳۷۵ ۲) ۰/۸ ۳) ۰/۶ ۴) ۱

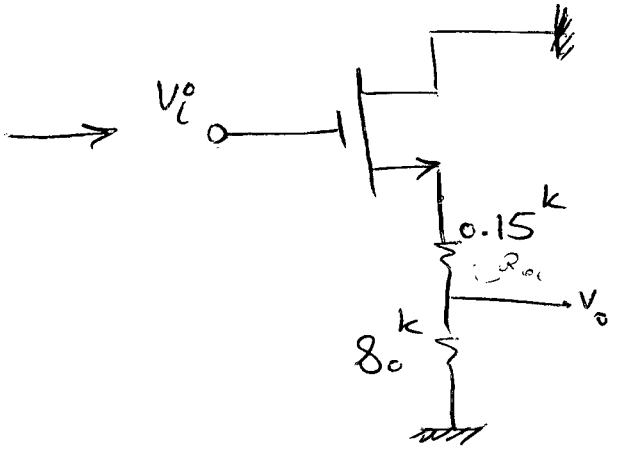


مدار در حالت ac

$\mu = 50 \times 4 = 200$



$$R_o = r_o + (1+\mu_1) R_S = 50^k + 200 \times 0.15^k = 80^k\Omega$$



$$\frac{V_o}{V_i^o} = \frac{80^k}{80 + 0.15 + \frac{r_d}{1+\mu}}$$

$$= \frac{80}{80 + 0.15 + \frac{50}{200}} \simeq 1$$

$R_{o1} = 0.15^k + 50^k (1+\mu) =$

$\frac{V_i}{\quad} \times \quad = V_o$

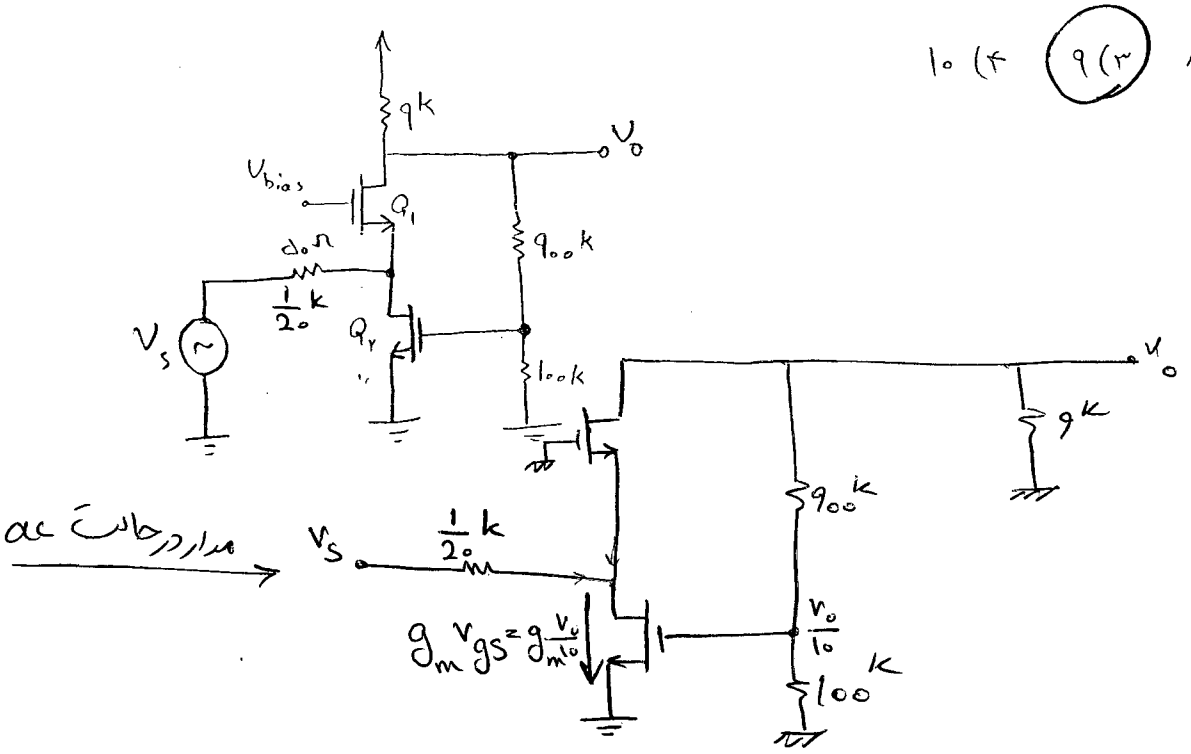
$\frac{V_o}{V_i} = 1$

LearnElement.ir

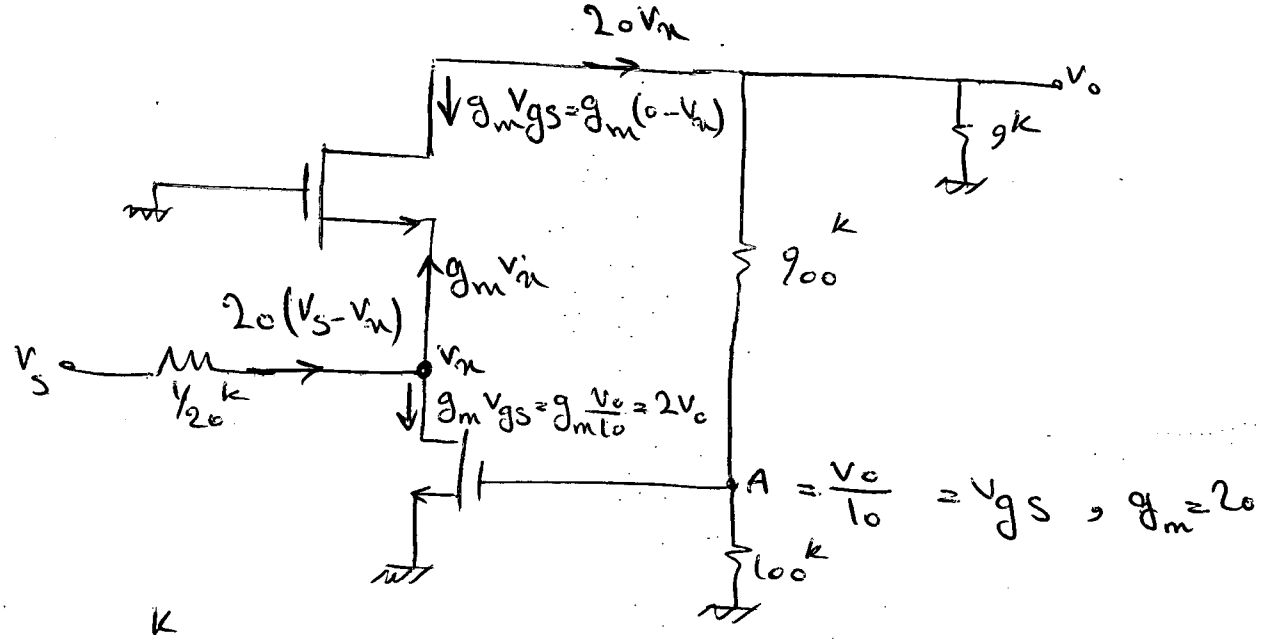
www.barqh-arshad.com

۴۸/ (برق - ۸۸) در مدار شکل زیر مقدار $\frac{V_o}{V_s}$ برابر کدام مورد است؟ ($r_d=\infty$ ، $g_{m_1}=g_{m_2}=20\ \frac{mA}{V}$)

۱) ۷ ۲) ۸ ۳) ۹ ۴) ۱۰



در A تقسیم ولتاژ زدیم.



$V_o = 9^{k} \times 20 v_x \rightarrow v_x = \frac{V_o}{180}$

$\rightarrow$ kcl: $20[V_s - v_x] = g_m v_x + 20 v_o$ ($g_m v_x = 20v_x$) $\frac{2}{9}$

$\rightarrow 20V_s = 40v_x + 2V_o \rightarrow 20V_s = \left[\frac{40}{180}+2\right]V_o$

LearnElement.jir

$\rightarrow 20V_s = \frac{20}{9}V_o \rightarrow \frac{V_o}{V_s} = \boxed{+9}$

جزوه الکترونیک ۱ استاد دیباجی تابستان (۱۳۹۰)

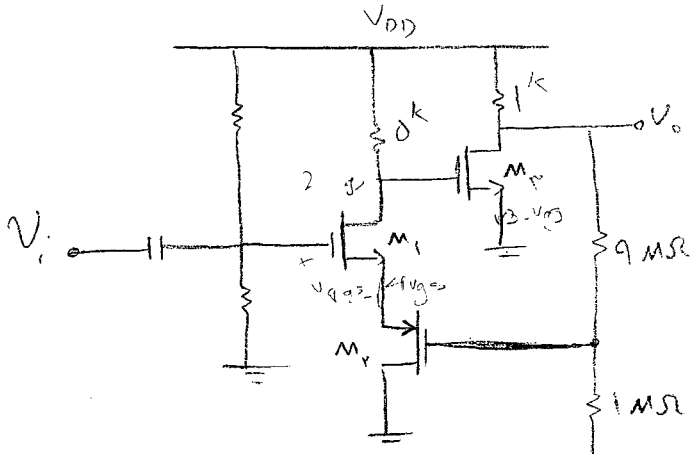
$\left(\text{به } g_m = 4\frac{mA}{V}\right)$ مقدار بهره ولتاژ $\frac{V_o}{V_i}$ کدام است؟

۱۰ (۱

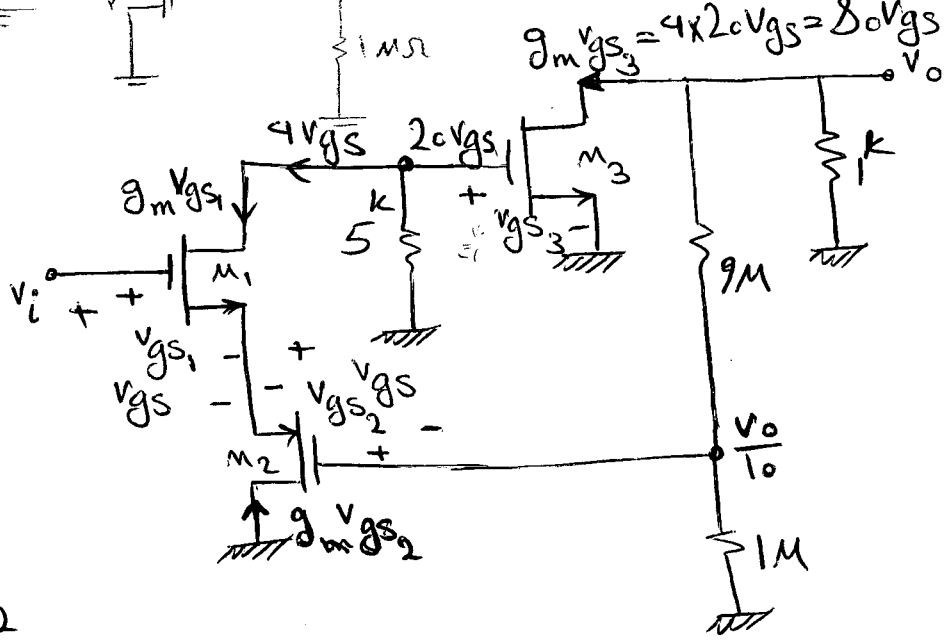
۹ (۲

۸ (۳

۷ (۴



مدار دوحالت ac ←



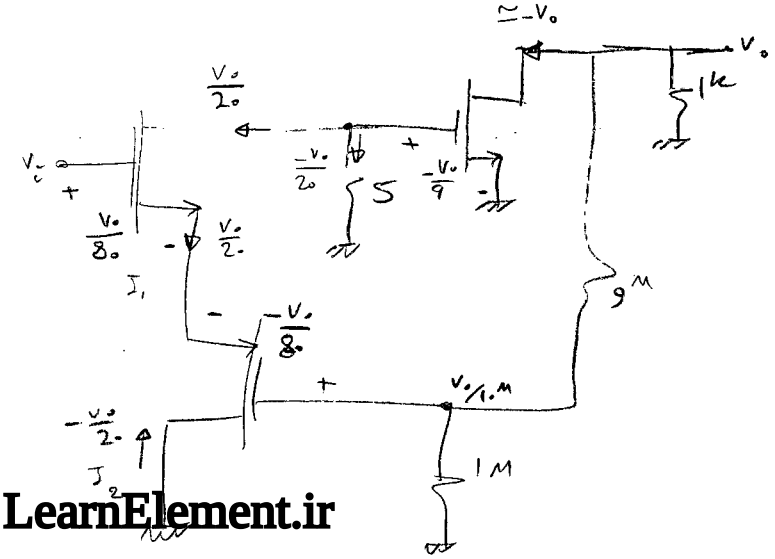
$g_{m_1} V_{gs_1} = g_{m_2} V_{gs_2}$

$g_{m_1} = g_{m_2} \xrightarrow{\text{طبق فرض}} V_{gs_1} = -V_{gs_2}$

$V_o = 1^k \times 80 V_{gs} \rightarrow V_{gs_1} = \frac{V_o}{80}$

$V_i = 2V_{gs} + \frac{V_o}{I_o} \Rightarrow V_i = 2\times\frac{V_o}{80} + \frac{V_o}{I_o} = \frac{V_o}{40} + \frac{V_o}{I_o} = \frac{1}{8} V_o$

$$\rightarrow \boxed{\frac{V_o}{V_i} = +8}$$



$I_1 = -I_2$

$\begin{cases} g_{m_1} = g_{m_2} \\ \rightarrow V_{gs_1} = -V_{gs_2} \end{cases}$

$V_i = \frac{2V_o}{80^k} + \frac{V_o}{10^M} = \left(\frac{1}{40} + \frac{1}{10}\right) V_o = \frac{1}{8} V_o$

LearnElement.ir

$\rightarrow \frac{V_o}{V_i} = 8 \rightarrow$

جزوه الکترونیک ۲ استاد باغستانی (تابستان ۱۳۹۰)

اتوماسیون -۸۹) در مدار شکل مقابل همهٔ ترانزیستورها در ناحیه اشباع بایاس شده‌اند. منابع جریان ایده‌آل هستند.

$$\begin{cases} g_{m_1} = 20\ \frac{mA}{V} \\ g_{m_2} = 10\ \frac{mA}{V} \\ r_{ds_1} = r_{ds_2} = 10\ k\Omega \end{cases}$$

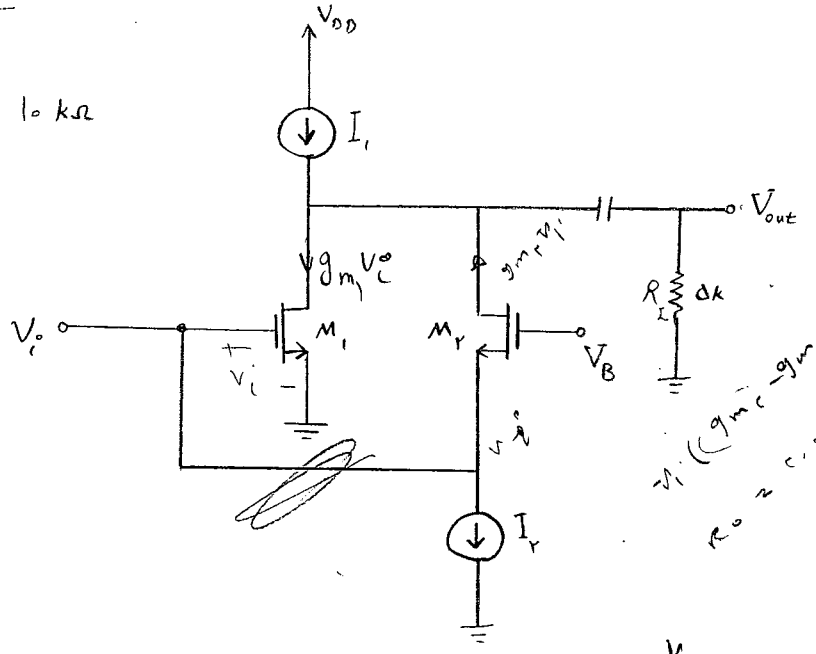
بهره ولتاژ $A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$ آن تقریباً کدام است؟

۱) -۱۰۰

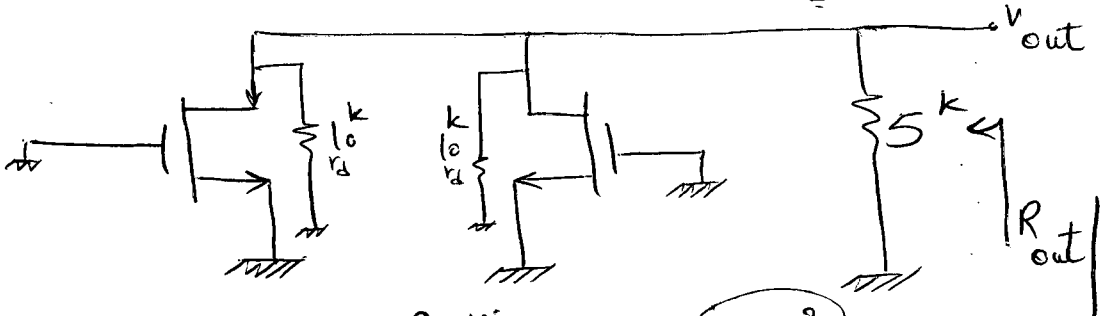
۲) -۷۵

۳) -۵۰

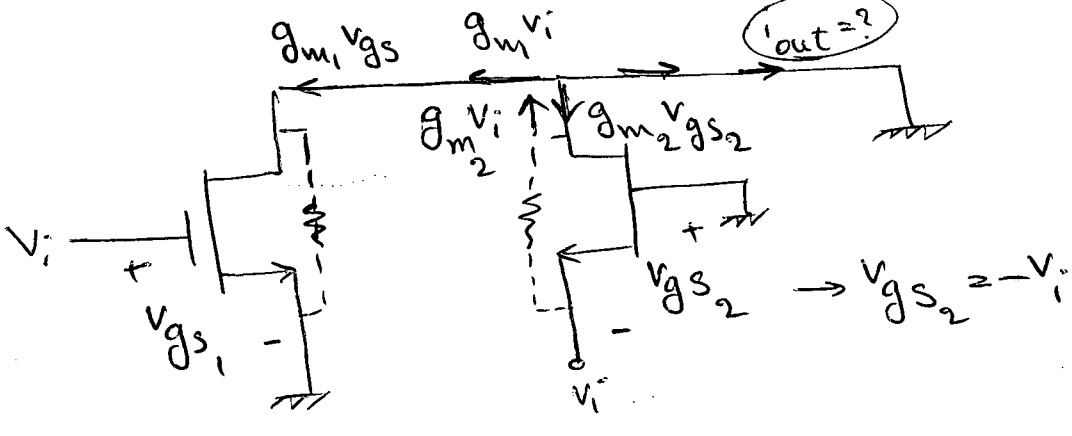
۴) -۲۵



$$-V_i(g_{m_1} - g_{m_2}) \times 2.5 = -25V_i$$



$$R_{out}\Big|_{V_i=0} = 5^k \| 10^k \| 10^k = 2.5^k$$



$$i_{out} = (g_{m_1} - g_{m_2})V_i = -10V_i$$

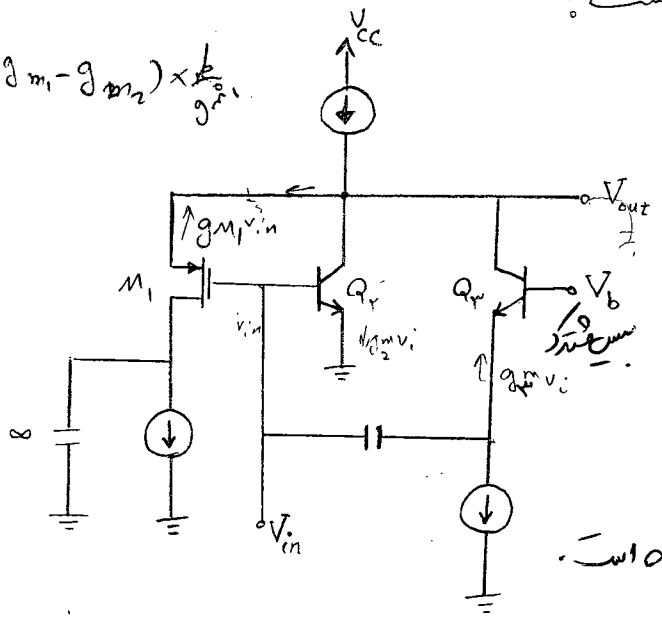
$$\rightarrow V_{out} = R_{out} \cdot i_{out} = 2.5 \times (-10)V_i$$

$$\frac{V_o}{V_i} = -25$$

LearnElement.ir

اتوماسیون - ۹۰) در مدار شکل زیر همه ترانزیستورها در ناحیه فعال بایاس شده‌اند. منابع جریان ایده‌آل هستند،

مقدار بهره ولتاژ $A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$ آن تقریباً چقدر است؟



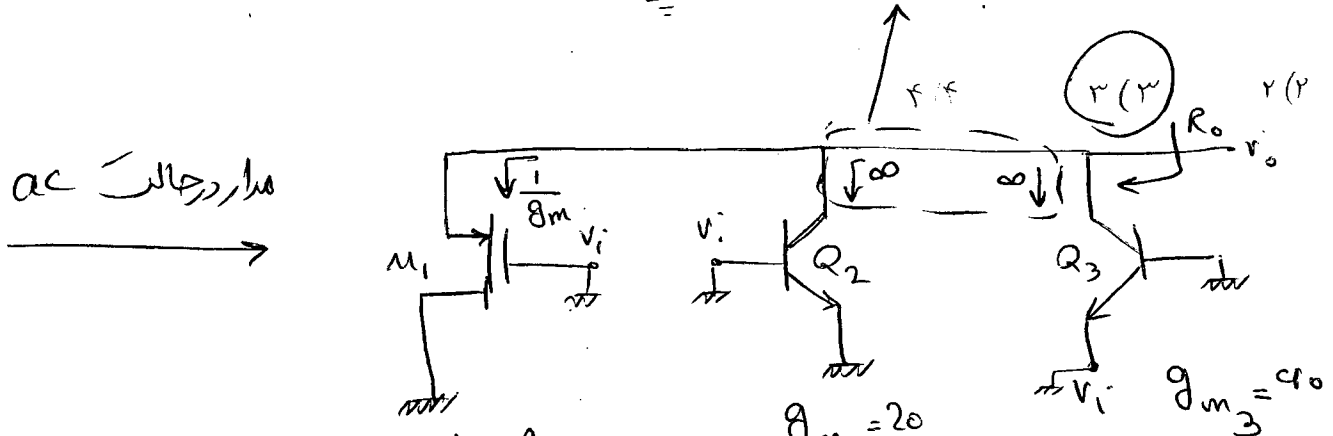
$$\left(g_{m_3} + g_{m_1} - g_{m_2}\right) \times \frac{R_o}{g_{m_1}}$$

M_1: $V_A = \infty$, $g_{m_1} = 10 \frac{mA}{V}$

$Q_{2,3}$: $V_A = \infty$, $g_{m_2} = 20 \frac{mA}{V}$, $g_{m_3} = 40 \frac{mA}{V}$

حول $V_A = \infty$ است.

مدار در حالت ac

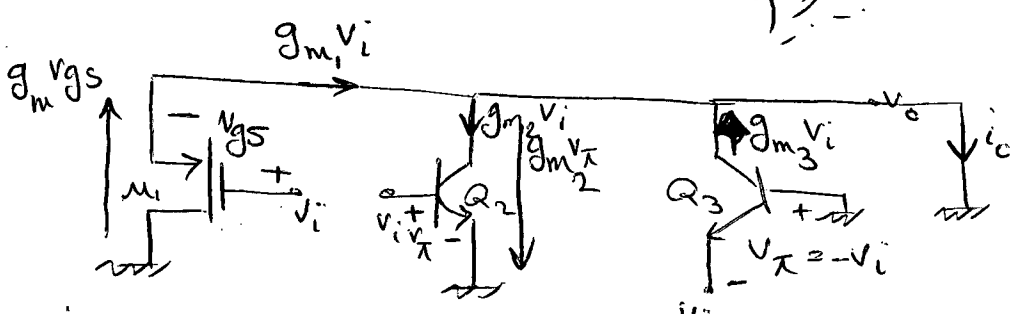


$g_{m_1} = 10mA/V$

$\frac{1}{g_m} = 0.1k\Omega$

وقتی خواستیم R_o را بدست آوریم تا ببینیم v_i را از بین بردیم.

خروجی را اتصال کوتاه کردیم تا i_o بدست آید.



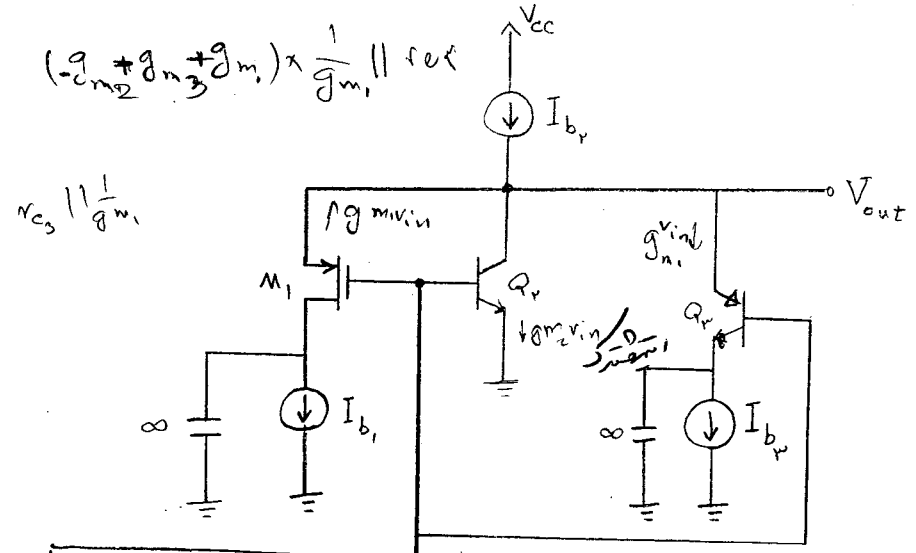
$$i_o = \left(g_{m_1} + g_{m_3} - g_{m_2}\right) v_i = 30 v_i \, mA$$

$R_{out} = 0.1k\Omega \rightarrow v_{out} = R_{out} \cdot i_{out} = 0.1^{k} \times 30 v_i \Rightarrow \frac{V_o}{V_i} = +3$

LearnElement.ir

جزوه الکترونیک ۱ استادیاری (آبان ۱۳۹۰)

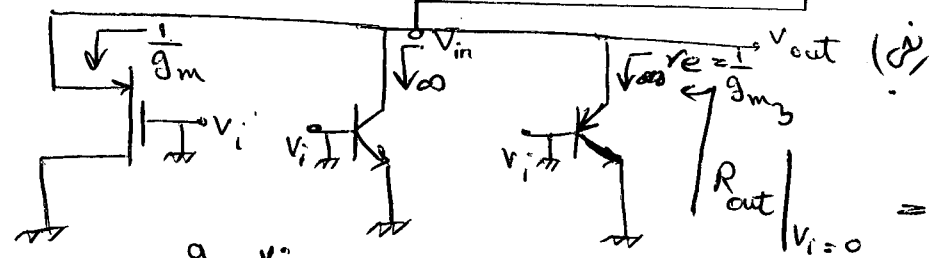
برق - ۹۰) در مدار شکل زیر همه ترانزیستورها در ناحیه فعال بایاس شده‌اند و منابع جریان ایده‌آل هستند. مقدار بهره ولتاژ $A_v = \left|\frac{V_{out}}{V_{in}}\right|$ آن تقریباً چقدر است؟



$$\begin{cases} V_A = \infty \\ g_{m_1} = 10\ \frac{mA}{V} \\ g_{m_2} = 100\ \frac{mA}{V} \\ g_{m_3} = 10\ \frac{mA}{V} \end{cases}$$

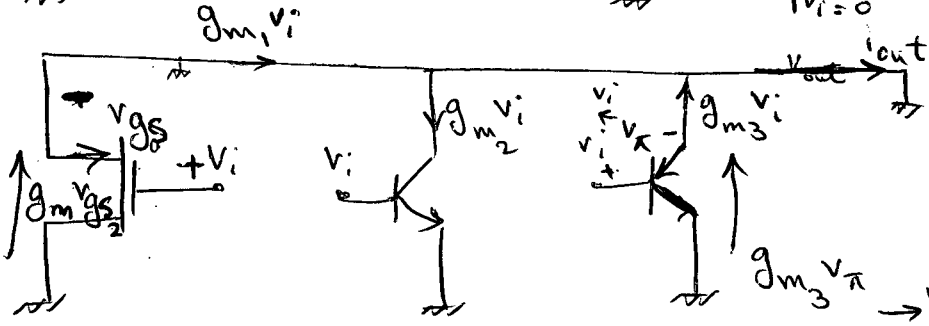
۱) ۱
۲) ۲
۳) ۵
۴) ۴

ابتدا R_o را از خروجی نسبت به v_i با صفر شدن منبع مستقل ورودی (نابرقی) حساب می‌کنیم.



$$= \frac{1}{g_{m_1}} \| \frac{1}{g_{m_3}} = \frac{1}{10} \| \frac{1}{10} = \frac{1}{20}k\Omega$$

حال برای محاسبه i_{out} منبع ورودی را به خروجی وصل می‌کنیم و داریم:



$$i_{out} = (g_{m_1} - g_{m_2} + g_{m_3})v_i = (10 - 100 + 10)v_i$$

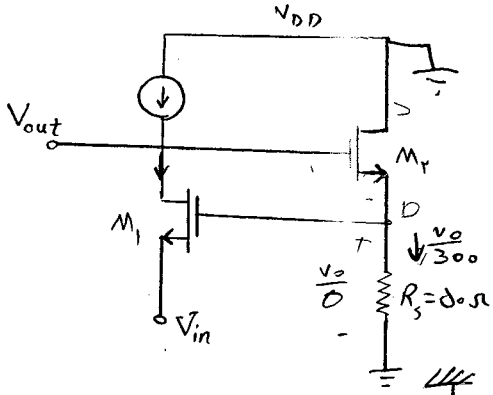
$$i_{out} = -80v_i$$

$$\rightarrow V_{out} = R_{out} \cdot i_{out} = \frac{1}{20}k \times (-80)v_i$$

$$\rightarrow \frac{v_o}{v_i} = -40 \rightarrow \boxed{\left|\frac{v_o}{v_i}\right| = 40}$$

برق - ۹۰) در مدار شکل زیر همه ترانزیستورها در ناحیه فعال بایاس شده‌اند. مقدار بهره ولتاژ $A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$ آن چقدر است؟

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۶ ۴) ۴



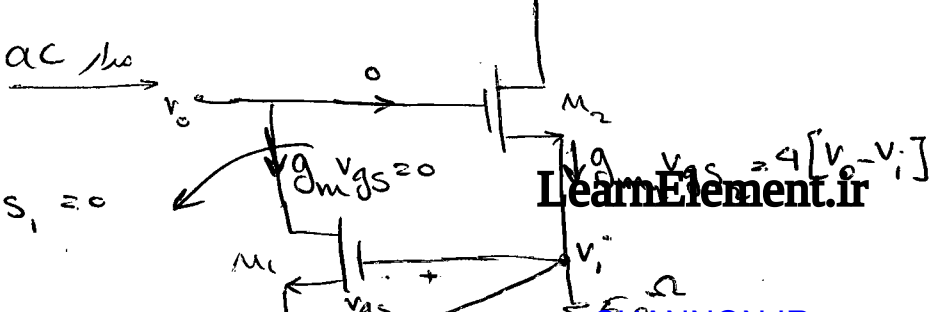
$$\begin{cases} g_m = 4\ \frac{mA}{V} \\ V_A = \infty \end{cases}$$

$$v_i = \frac{1}{20}k\left[4(v_o - v_i)\right]$$

$$\rightarrow 5v_i = v_o - v_i \rightarrow v_o = 6v_i$$

توضیح درست نیست

مدار ac



LearnElement.ir

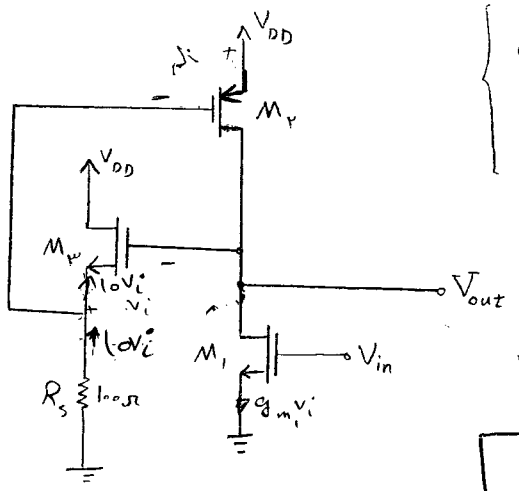
www.bargh-arshad

$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$ اتوماسیون ۹۰-) در مدار شکل زیر همه ترانزیستورها در ناحیه فعال بایاس شده‌اند. مقدار بهره ولتاژ چقدر است؟

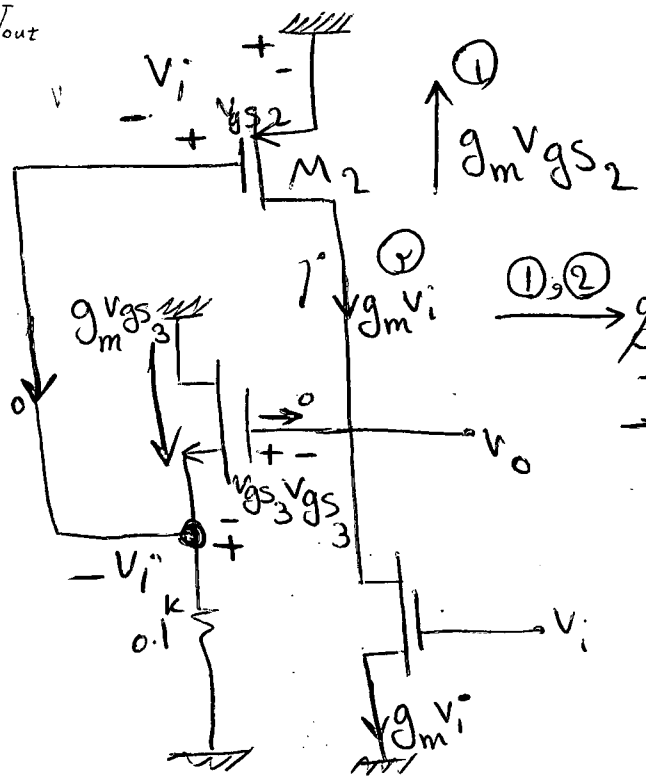
$g_m = 10\ \frac{mA}{V}$

$V_A = \infty$

۱ (۱
۲ (۲
۳ (۳
۴ (۴



مدار حالت ac



$g_m V_i = -g_m V_{gs}$ ①,②

$\rightarrow V_i = -V_{gs_2}$

$-V_i = 0.1 \times g_m \times V_{gs_3} =$

$-V_i = 0.1 \times 10 \times V_{gs_3} = V_{gs_3}$

$\rightarrow \boxed{V_{gs_3} = -V_i}$

$\rightarrow V_{out} = -V_i - V_i = \boxed{-2V_i}$

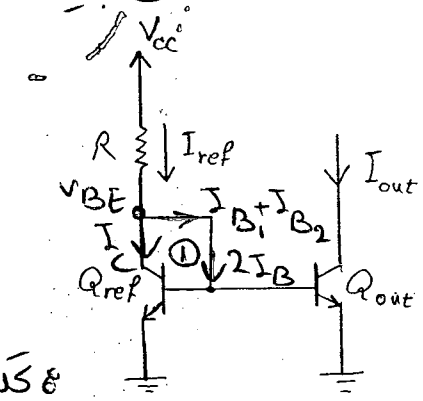
$-V_o - V_i - V_i = 0 \rightarrow \frac{V_o}{V_i} = -2$

LearnElement.ir

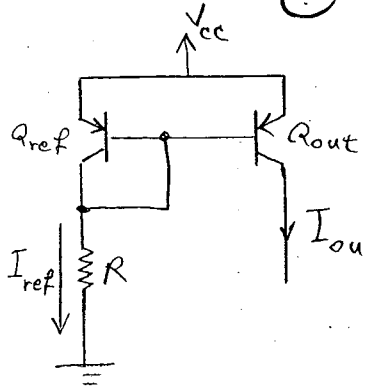
منابع جریان

منبع جریان آینه‌ای :

منبع جریان npn



منبع pnp



فرض ۱) ترانزیستورها مشابه‌اند :

$$I_{out} \simeq I_{ref} = \frac{V_{cc}-|V_{BE}|}{R}$$

DC کلیه

$$I_C = I_S\left[e^{\frac{V_{BE}}{V_T}}-1\right] \xrightarrow{\text{ثابت بودن}} I_{C_1} = I_{C_2} = I_C$$

$I_{C_2} = I_o$

$$I_{ref} = 2I_B + I_C = 2\frac{I_C}{\beta} + I_C \xrightarrow{I_o = I_C} I_o = \frac{I_{ref}}{1+\frac{2}{\beta}} \quad (A)$$

$$\text{if } \beta_1 \neq \beta_2 \rightarrow I_o = \frac{I_{ref}}{1+\left(\frac{1}{\beta_1}+\frac{1}{\beta_2}\right)}$$

(A) if $\beta \gg 2 \longrightarrow I_o \simeq I_{ref} = \frac{V_{cc}-V_{BE}}{R}$

نکته : روابط فوق در صورتی برقرار است که ترانزیستورها در ناحیه فعال باشند.

فرض ۲) اگر ترانزیستورها مشابه نباشند (سطح مقطع‌ها متفاوت باشند) $(A_{E_2} = nA_{E_1})$

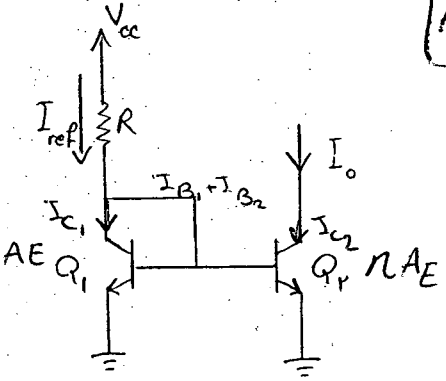
$$A_{E_2} = nA_{E_1} \longrightarrow I_{S_2} = nI_{S_1}$$

$$\text{if } V_{BE_2} = V_{BE_1} \quad (*)$$

$$I_C = I_S\left(e^{\frac{V_{BE}}{V_T}}-1\right)$$

$$\Big\} \rightarrow I_{C_2} = nI_{C_1}$$

($I_{C_2} = I_o$)



$$I_{ref} = I_{C_1} + I_{B_1} + I_{B_2} = \frac{I_{C_2}}{n} + \frac{I_{C_2}}{n\beta_1} + \frac{I_{C_2}}{\beta_2}$$

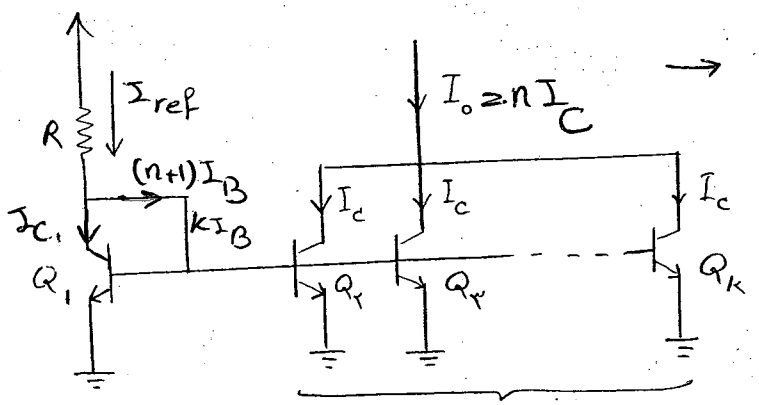
$$\longrightarrow I_o = I_{C_2} = \left\{\frac{I_{ref}}{\frac{1}{n}+\frac{1}{n\beta_1}+\frac{1}{\beta_2}}\right\}\times\frac{n}{n} = \frac{nI_{ref}}{1+\left(\frac{1}{\beta_1}+\frac{n}{\beta_2}\right)} \xrightarrow{\beta_1,\beta_2 \gg n} I_o \simeq nI_{ref}$$

← این شرط یعنی از جریان بین صفر و صد نسبم.

LearnElement.ir

$I_{C_{1,2,\ldots,k}} = I_C$ → چون ترانزیستورها شبیه و V_{BE}ها شبیه باهم برابرند.

$$I_{ref} = I_C + kI_B$$
$$= I_C + k\frac{I_C}{\beta}$$

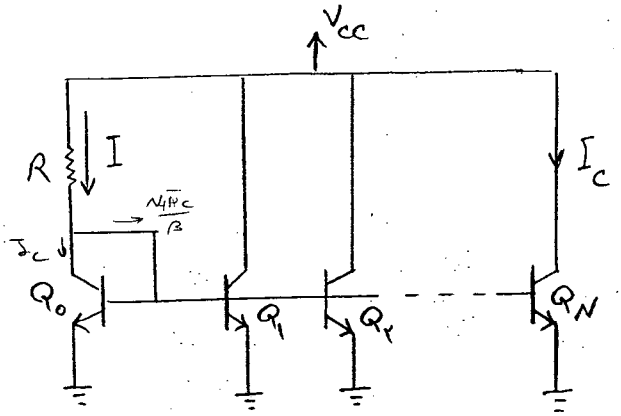


n تا ترانزیستور شبیه با Q_1

$$\rightarrow I_C = \frac{I_{ref}}{1+\frac{k}{\beta}} = \frac{I_{ref}}{1+\frac{n+1}{\beta}}$$

$$\rightarrow I_o = nI_C = \frac{nI_{ref}}{1+\left(\frac{n+1}{\beta}\right)}$$

برق ۸۵-) در مدار شکل زیر جریان I_c کدامیک از گزینه های زیر است؟



$$I = I_c + \frac{N+1}{\beta}I_c = \left(\frac{\beta+N+1}{\beta}\right)I_c$$

$$\rightarrow I_c = \frac{\beta I}{\beta+N+1}$$

۱) $I_c = I$

۲) $I_c = \frac{\beta I}{\beta+1}$

۳) $I_c = \frac{\beta I}{\beta+N+1}$ ✓

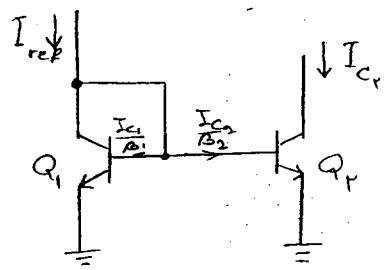
۴) $I_c = \frac{\beta I}{N+1}$

LearnElement.ir

جزوه الکترونیک ۲ استاد بهشتی زاستان ۱۳۹۰

کاردانی به کارشناسی-۸۹) در آینه جریان شکل مقابل، I_{C_2} چند میلی آمپر است؟

$I_{ref}=5mA$, $\beta_1=100$, $\beta_2=200$, $A_1=200\mu m^2$, $A_2=2000\mu m^2$



$$n=\frac{2000}{200}=10$$

$$\rightarrow I_{C_2}=\frac{n I_{ref}}{1+\frac{1}{\beta_1}+\frac{n}{\beta_2}}$$

$$=\frac{10\times 5mA}{1+\frac{1}{100}+\frac{n=10}{200}}\simeq\frac{50}{1.06}=47.16$$

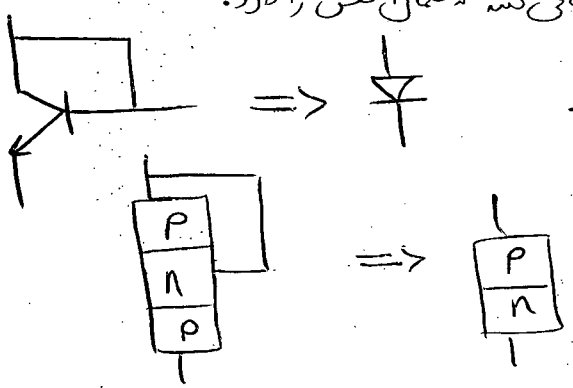
۱) ۱۰۶٫۷۳

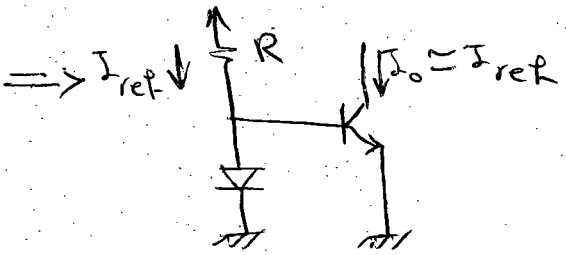
۲) ۵۳٫۱۴

۳) ۹۴٫۳۲

۴) ۴۷٫۱۶

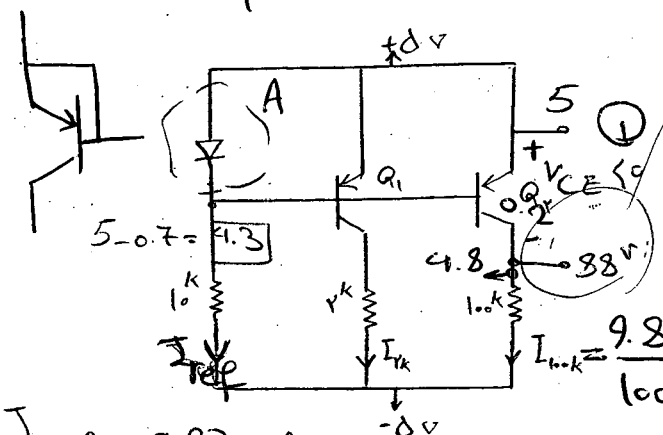
نکته: گاهی اوقات در منابع جریان آینه‌ای به جای Q_{ref} از یک دیود استفاده می‌کنند که همان نقش را دارد.





$-5+100\times 0.93=88^V$

در مدار شکل زیر مطلوبست محاسبهٔ I_{2k} , I_{100k}



$I_{2k}=I_{ref}=0.93mA$

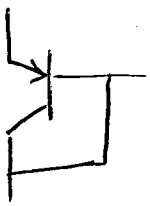
$I_{ref}=I_{100k}=0.93mA$

① $\rightarrow V_{CE}<0$ پس فرض فعال بودن ترانزیستور غلط است.

$\leftarrow V_E=4.8 \leftarrow V_{CE}=0.2$ پس $A=$

$I_{100k}=\frac{9.8+5}{100}=0.98$

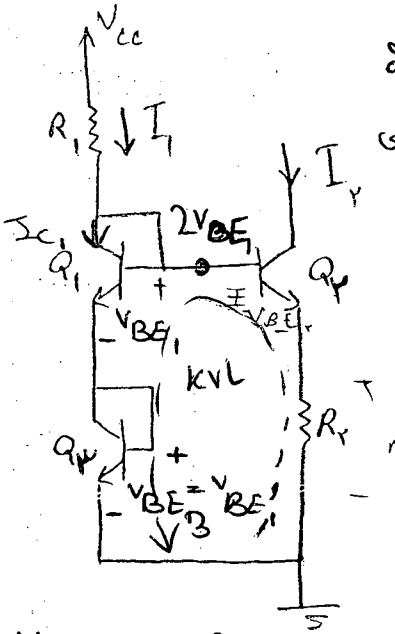
تمرین:



LearnElement.ir

www.barqh-arshad.com

برق - ۸۰) در مدار زیر همهٔ ترانزیستورها مشابه‌اند (I_S و β یکسان دارند) و $\beta \gg 1$ است. جریان I_2 از کدام رابطه پیدست می‌آید؟



Q_3 ، Q_1 مشابه و سرنده

سری: $I_{C_1}=I_{C_3}$

موازی: $I_{S_1}=I_{S_2}$

$\Big\} V_{BE_1}=V_{BE_2}$

$$I_2=I_1\ln\left(\frac{I_1^2}{I_2 I_S}\right) \quad (1$$

$$I_2=\frac{V_T}{R_2}\ln\left(\frac{I_1}{I_S}\right) \quad (2$$

$$I_2=\frac{2V_T}{R_2}\ln\left(\frac{I_1}{I_S}\right) \quad (3$$

$$I_2=\frac{V_T}{R_2}\ln\left(\frac{I_1^2}{I_2 I_S}\right) \quad (4$$

$$2V_{BE_1}=V_{BE_2}+R_2\times I_2 \rightarrow R_2 I_2=2V_{BE_1}-V_{BE_2}$$

$$I_C\simeq I_S e^{V_{BE}/V_T} \longrightarrow V_{BE}=V_T\ln\left(\frac{I_C}{I_S}\right) \quad ①$$

$$①,② \longrightarrow R_2 I_2=2V_T\ln\left(\frac{I_{C_1}}{I_S}\right)-V_T\ln\left(\frac{I_{C_2}}{I_S}\right)$$

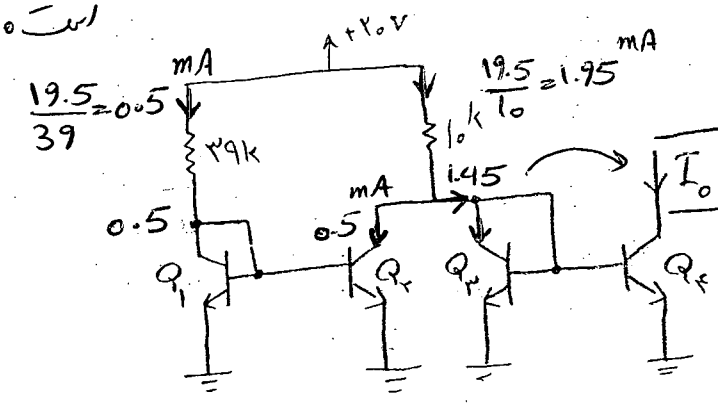
$$=V_T\ln\left[\frac{\left(\frac{I_1}{I_S}\right)^2}{\left(\frac{I_2}{I_S}\right)}\right]$$

$$\rightarrow I_2=\frac{V_T}{R_2}\ln\left(\frac{I_1^2}{I_S I_2}\right)$$

$\beta \gg 1 \rightarrow I_1=I_{C_1}$

برق - ۸۶) مقدار جریان I_o در مدار شکل روبرو به کدام گزینه نزدیک‌تر است؟ ($V_{BE}=0.7V$ ، $\beta \rightarrow \infty$) (و بایست کلکتور بوده است.)

(مشابه برق - ۷۷)



Q_2 ، Q_1 مشابه $\rightarrow I_{C_1}=I_{C_2}=0.5$

۱) صفر

۲) ۱٫۴۵ mA

۳) ۱٫۴ mA

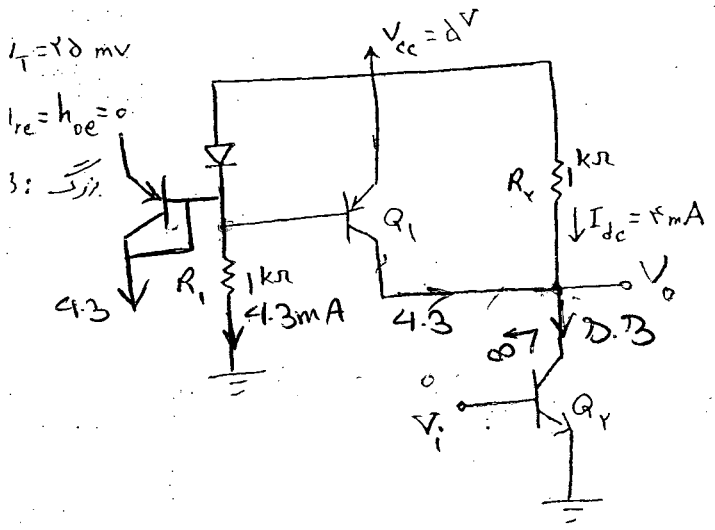
۴) ۱٫۹۵ mA

حل تمرینی راجع به مشابه بودن نکته است که به درستی طرح کردید.

LearnElement.ir

www.barghsharif.com

برق -۷۷) در مدار شکل زیر در صورتیکه $V_D = V_{BE} = 0.7\,V$ ولت و جریان اشباع معکوس دیود و پیوند بیس-امیتر ترانزیستورها یکسان باشد، بهره ولتاژ $\left|\frac{V_o}{V_i}\right|$ حدود چند است؟



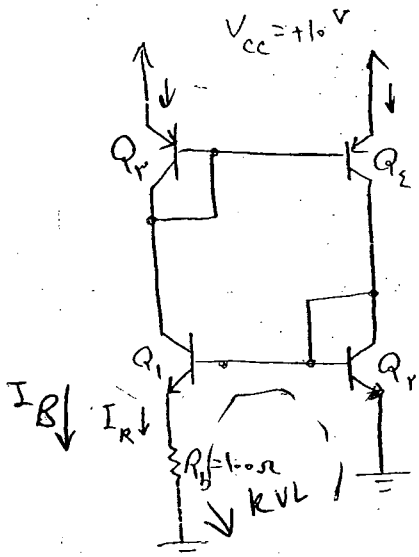
۱) ۱۲ ۲) ۱۴۰ ۳) ۱۷۲ ۴) ۲۲۲

$$re = \frac{V_T}{I_E} = \frac{25}{8.3} = 3\,\Omega$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{-1^k}{re} = \frac{-1000}{3} = -333$$

اتوماسیون -۸۶) در مدار شکل زیر ترانزیستورهای Q_2 ، Q_3 و Q_4 یکسان هستند و مساحت پیوند بیس-امیتر Q_1 ده برابر Q_{2-4} است. با فرض β بزرگ، جریان گذرنده از مقاومت R_b تقریباً برابر است با:

$$V_{BE} = 50^{mV} \times \log\left(\frac{I_c}{I_s}\right), \quad I_{S_2} = 10^{-15}\,A, \quad I_{S_1} = 10 I_{S_2}$$



۱) $I_R = 1.0\,mA$ ۲) $I_R = 0.18\,mA$

۳) $I_R = 0.185\,mA$ ۴) $I_R = 2\,mA$

① سری → Q_3 ، Q_1 دارای جریان یکسان

② موازی → " " " Q_3 ، Q_4

③ سری → " " " Q_2 ، Q_4

①، ②، ③ → " " " Q_1 ، Q_2

KVL: $V_{BE_2} = V_{BE_1} + 0.1 I_B \Rightarrow I_B = 10^{mA}\left[V_{BE_2} - V_{BE_1}\right]$

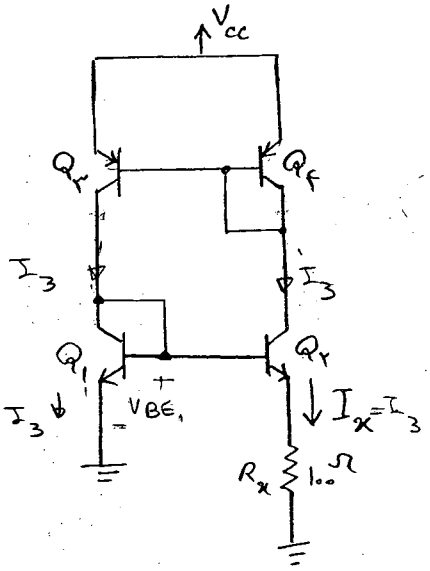
$$\rightarrow I_B = 10^{\frac{mA}{V}}\left[50\log\frac{I_{C_2}/I_{S_2}}{I_{C_1}/I_{S_1}}\right] = 10^{\frac{mA}{V}}\left[50\log\left(\frac{I_{S_1}}{I_{S_2}}\right)\right]$$

$$= 10^{\frac{mA}{V}} \times 50^{mV} \log 10 = 0.5\,mA$$

LearnElement.ir

www.barghcarshad.com

اتوماسیون -۸۹) در مدار شکل مقابل همهٔ ترانزیستورها در ناحیهٔ فعال پایاس شده‌اند. مساحت پیوند بیس-امیتر ترانزیستورهای Q_2 و Q_3 به ترتیب دو برابر مساحت پیوند بیس-امیتر ترانزیستورهای Q_1 و Q_4 است. مقدار جریان I_x تقریباً چند میلی آمپر است؟



$A_{E_2} = 2A_{E_1} \rightarrow I_{S_2} = 2I_{S_1}$

$A_{E_3} = 2A_{E_4} \rightarrow I_{S_3} = 2I_{S_4}$

$V_T = 25\,mV$

$V_A = \infty$

$\beta \gg 1$

$\ln 2 = 0.7$

۱) ۰/۱۷۵

۲) ۰/۲۵

۳) ۰/۵۲۵

۴) ۰/۷۰

حل: $I_{C_3} = I_{C_4} \leftarrow V_{BE_3} = V_{BE_4}$

$I_{C_3} = I_{C_4}$

$I_{ref} = \left(\frac{2}{\beta} + 1\right) I_{C_3} = I_{C_3}$

$I_{ref} = I_x = I_{C_3}$

$\left(I_{C_1} + \frac{2}{\beta} I_{C_1}\right) = I_{C_3}$

$I_{C_1} \cong I_{C_3}$

$-V_{BE_1} + V_{BE_2} + 1.0\Omega \times I_1 = 0$

$\rightarrow V_T \ln\left[\frac{I_1}{I_{S_1}}\right] - V_T \ln\left[\frac{I_2}{I_{S_2}}\right] = 1.0\Omega \times I_x$

$\rightarrow V_T \ln\left[\frac{I_3}{I_{S_1}} \Big/ \frac{I_3}{2I_{S_1}}\right] = 1.0 \rightarrow V_T \ln[2] = \ln I_x$

$\rightarrow \frac{25 \times 0.7}{1.0} = I_x$

$I_x = 0.175$

(راه‌حل دوم)

$-V_{BE_1} + V_{BE_2} + 0.1\,I_x = 0$

$-V_T \ln \frac{I_2}{2I_{S_2}} + V_T \ln \frac{I_1}{I_{S_1}} = 0.1\,I_x$

$V_T \ln \frac{\frac{I_1}{I_{S_1}}}{\frac{I_2}{2I_{S_2}}} = 0.1\,I_x$

$V_T \ln 2\frac{I_1}{I_2} = 0.1\,I_x$

$V_T \ln 2 \times 2\frac{I_x}{I_x} = 0.1\,I_x$

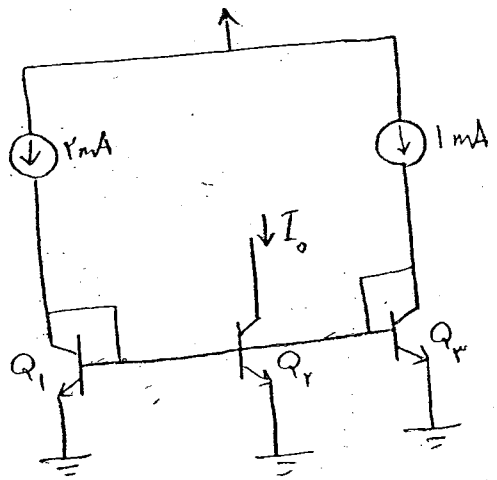
$0.1\,V = 0.1\,I_x$

$I_x = 1\,A$

LearnElementir

جزوه الکترونیک استاد باغستانی (تابستان ۱۳۹۰)

اتوماسیون ـ ۸۸) در مدار آینه جریان شکل زیر همهٔ ترانزیستورها در ناحیه فعال بایاس شده‌اند. مساحت پیوند بیس-امیتر ترانزیستورهای Q_2 و Q_3 به ترتیب ۵ و ۲ برابر پیوند بیس-امیتر ترانزیستور Q_1 است. مقدار جریان I_o برابر است با:



۱) ۲٫۵

۲) ۵

۳) ۷٫۵

۴) ۱۰

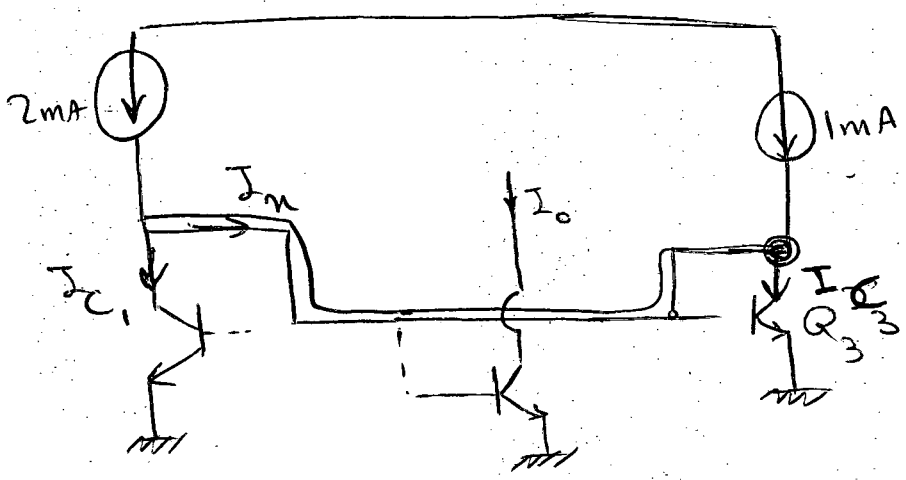
پاسخ: گزینه ۲

$$\beta \to \infty \to I_B = 0$$

$$A_{E_2} = 5A_{E_1}$$

$$A_{E_3} = 2A_{E_1} \to I_{C_3} = 2I_{C_1}$$

$A_{E_2} = 5A_{E_1}$



$$KCL \circ 2 = I_x + I_{C_1}$$

$$KCL \circ 1 = -I_x + I_{C_3}$$

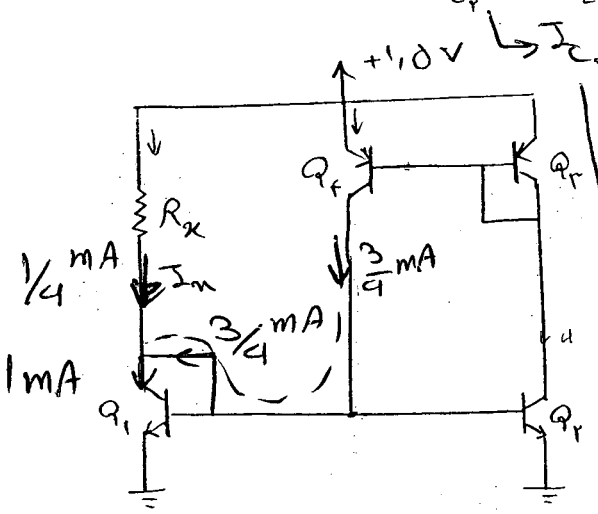
$$3 = I_{C_1} + I_{C_3} \to 3 = I_{C_1} + 2I_{C_1} \to \boxed{I_{C_1} = 1mA}$$

$$AE_2 = 5A_{E_1} \to I_{C_2} = 5I_{C_1} = \boxed{5mA}$$

LearnElement.ir

برق - ۸۹) در مدار شکل مقابل ساعت پیوند بیس-امیتر ترانزیستور Q_2، ۳ برابر Q_1 و ساعت پیوند بیس-امیتر Q_3، ۴ برابر Q_4 است. اگر جریان کلکتور Q_1 برابر با 1mA باشد. در این صورت مقاومت R_x برحسب kΩ تقریباً کدام است؟ (β خیلی بزرگ)

$V_{BE} = 0.7V$ ، $A_{E_2} = 3A_{E_1}$ ، $A_{E_3} = 4A_{E_2}$



$I_{C_2} = 3I_{C_1}$

$I_{C_3} = 3I_{C_1}$

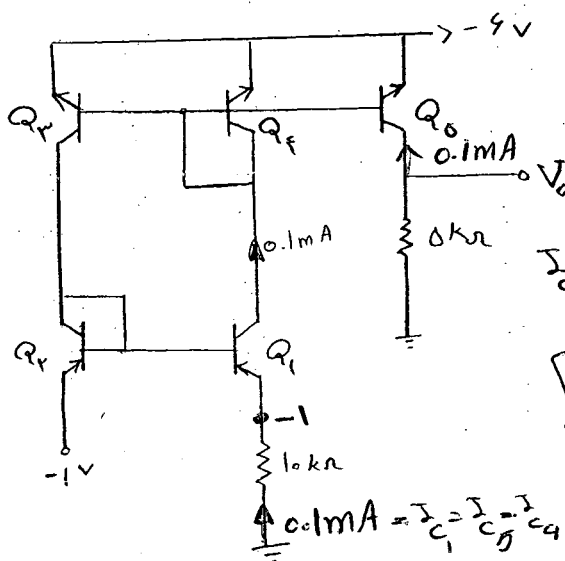
$4I_{C_4} = 3 \times 1mA \rightarrow I_{C_4} = \frac{3}{4} mA$

$\rightarrow R_x = \frac{0.8 = 1.5 - 0.7}{\frac{1}{4}} = 3.2k$

۱) ۳,۲ ✓ ۲) ۱,۶ ۳) ۲,۴ ۴) ۱,۸

از مرجع / بین صورت نداشت؟

برق - ۸۹) در مدار شکل مقابل ترانزیستورهای Q_1 تا Q_5 یکسان هستند. اگر β ترانزیستورها بسیار بزرگ باشد ولتاژ V_0 بر حسب ولت به کدام مقدار نزدیکتر است؟



۱) ۲- ۲) ۱- ۳) -۰.۵ ✓ ۴) ۰

$I_{C_2} = I_{C_3}$ ← سرند

$I_{C_5} = I_{C_3} = I_{C_4}$ ← $V_{BE_5} = V_{BE_3} = V_{BE_4}$ و شبه

$I_{C_4} = I_{C_1}$ ← حول سرند

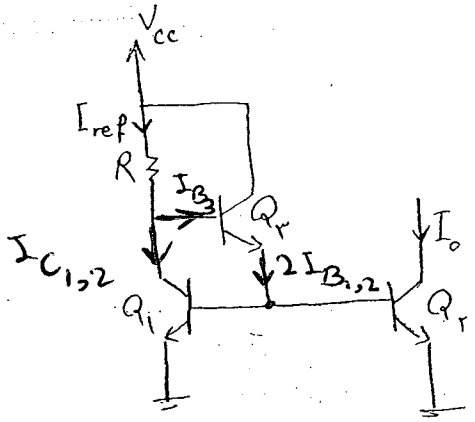
Q_1, Q_4 شبه ← $V_{BE_1} = V_{BE_2}$

$I_{C_1} = I_{C_2}$

$V_0 = -0.1m \times 5k = -0.5V$

LearnElement.ir

نکته ۴) جهت کاهش خطای بین I_o و I_{ref} می‌توان مطابق شکل زیر از ترانزیستور Q_3 استفاده نمود



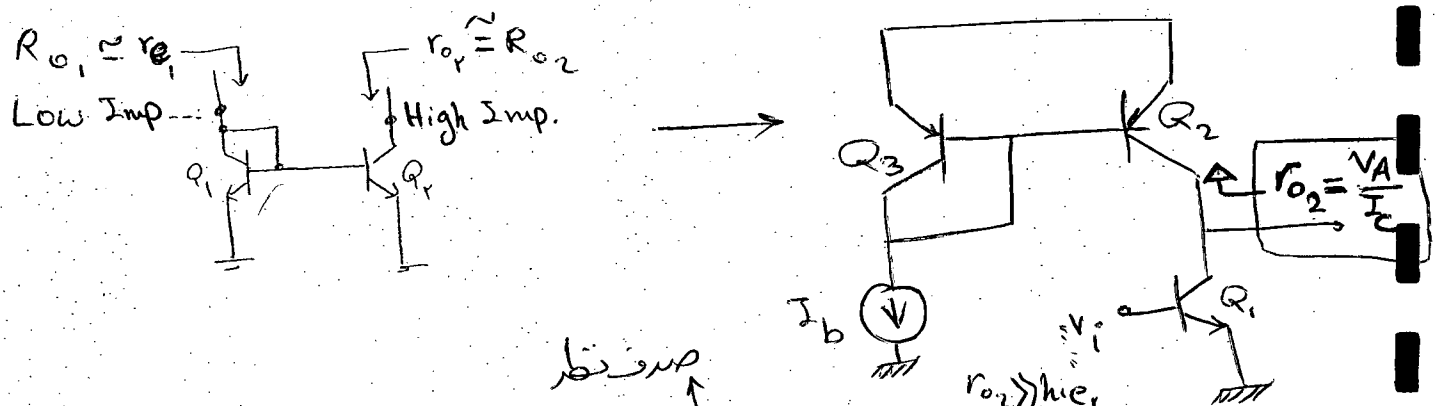
$$I_{B_3} = \frac{2I_{B_{1,2}}}{\beta_3+1} \qquad \frac{I_{C_{1,2}}}{\beta_{1,2}}$$

$$\rightarrow I_{ref} = I_{C_{1,2}} + \frac{2I_{B_{1,2}}}{\beta_3+1}$$

$$\rightarrow I_{ref} = I_{C_{1,2}}\left[1+\frac{2}{(\beta_3+1)\beta_{1,2}}\right]$$

$$\rightarrow \boxed{I_o = I_{C_{1,2}} = \frac{I_{ref}}{1+\frac{2}{\beta_{1,2}(\beta_3+1)}}}$$

نکته ۵) مقاومت خروجی منبع جریان آینه‌ای:

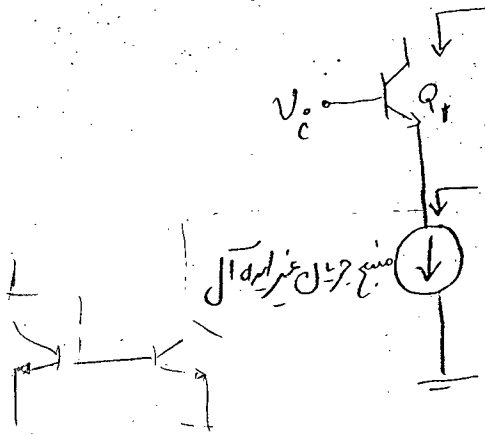


صرف نظر

$$R_{out} \simeq r_{o_1}\left[1+\frac{h_{ie_1}\|r_{o_2}}{r_{e_1}}\right] \qquad r_{o_2} \gg h_{ie_1} \Rightarrow \approx h_{ie_1}$$

$$= r_o\left[\frac{h_{ie_1}}{r_{e_1}}\right] = \beta r_o$$

(β)

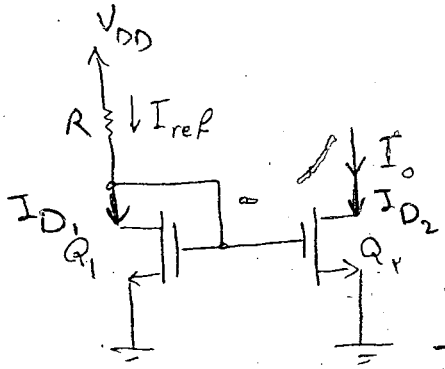


$$\xrightarrow[\text{دقیق‌تر}]{} R_{out} \simeq \frac{r_{o_1}}{r_{e_1}}\left(h_{ie_1}\|r_{o_2}\right) \simeq g_{m_1} r_{o_1}\left(r_{o_2}\|\frac{h_{ie_1}}{\beta}\right)$$

$$R_{out} = r_{o_1}\left(1+g_{m_1}\left(h_{ie_1}\|r_{o_2}\right)\right)$$

LearnElement.ir

منبع جریان آینه‌ای با MOSFET : جریان گیت صفر است.



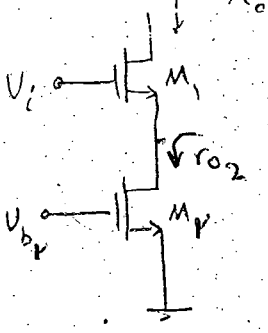
$$\frac{I_o}{I_{ref}} = \frac{I_{D_2}}{I_{D_1}} = \frac{\frac{1}{2}\mu_n C_{ox}\left(\frac{W}{L}\right)_2 [V_{GS}-V_T]^2}{\frac{1}{2}\mu_n C_{ox}\left[\frac{W}{L}\right]_1 [V_{GS}-V_T]^2}$$

$$\frac{V_{GS_1}=V_{GS_2}}{V_{T_1}=V_{T_2}} \Rightarrow \frac{I_o}{I_{ref}} = \frac{\left(\frac{W}{L}\right)_2}{\left(\frac{W}{L}\right)_1} = \frac{k_2}{k_1}$$

صرف نظر — $g_m r_{o_1}$ — صرف نظر

$$R_{out_2} = r_{o_2} + (1+\mu_1) r_{o_1} = r_{o_1} + g_{m_1} r_{o_1} r_{o_2} =$$

$$= g_{m_1} r_{o_1} r_{o_2}$$



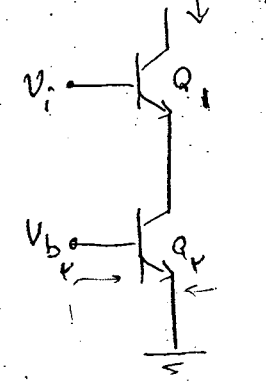
$$R_{out} = r_{o_1}(1+g_m r_{o_2}) +$$

$$r_{o_1} + (1+g_m r_{o_1}) r_{o_2}$$

$$r_{o_1} + r_{o_2} + g_m r_{o_1} r_{o_2}$$

$g_{m_1} r_{o_1}$

$$R_{out_2} = r_{o_2}(1+\mu_1)\ [r_{o_1} \| h_{ie_1}]$$



$$\cong g_{m_1} r_{o_1} [r_{o_2} \| h_{ie_1}]$$

① $\frac{r_o}{r_e}$

$r_{o_2} \gg h_{ie_2} \rightarrow R_{out} = \beta r_{e_1}$

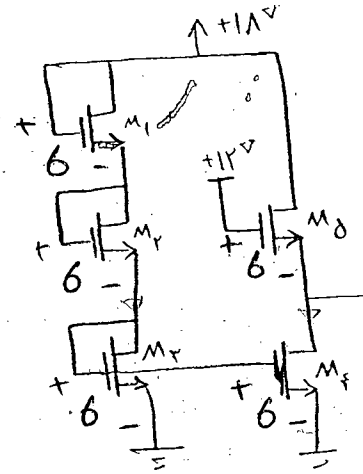
① $= h_{ie_2} = \beta r_{e_1} = \frac{\beta}{g_{m_1}}$

LearnElement.ir

www.bargh-arshad.com

۱۸۶) در مدار شکل مقابل همهٔ MOSFET ها یکسان هستند، ولتاژ V_o چقدر است؟

۱) ۶ ✓ ۲) ۹ ۳) ۱۰ ۴) ۱۲



$$V_o = -6+12 = 6$$

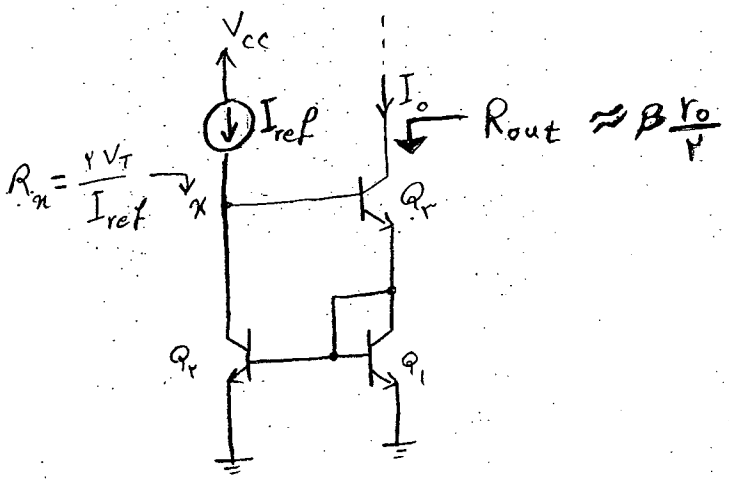
$$V_{gs_1} = V_{gs_2} = V_{gs_3} = 6$$

$$\longrightarrow V_{g_3} = V_{gs_4} = 6 \longrightarrow V_{gs_4} = V_{gs_5} = 6$$

$$V_o = -6+12 = 6$$

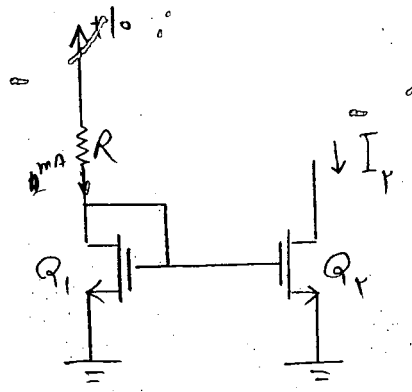
$I_D = K(V_{GS} - V_T)^2$

مدار آینه جریان ویلسون «Wilson»:



LearnElement.ir

کارشناسی ارشد - ۸۱) در مدار شکل مقابل با فرض $V_{T_1}=V_{T_2}=2V$ ، $k_1=k_2=1\frac{mA}{V^2}$ ، مقدار مقاومت R باید چند کیلو اهم باشد تا $I_2=1mA$ شود؟



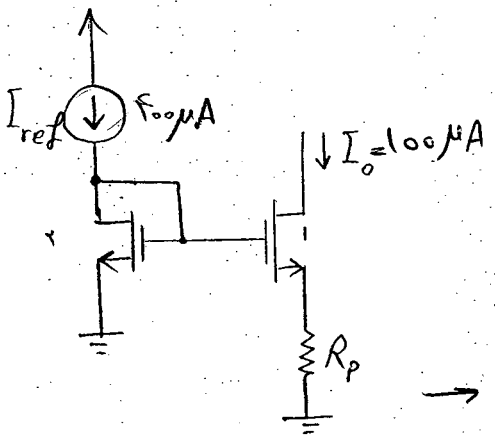
۱) ۲۱ ۲) ۱۴ ۳) ۷ ۴) ۳٫۵

M_1, M_2 شبیه‌اند $\rightarrow \begin{cases} I_{D_1}=I_{D_2}=1mA \\ V_{GS_1}=V_{GS_2} \text{ از قسمت قبل} \end{cases}$ $\quad I_D=k[V_{GS}-V_T]^2$

$$\rightarrow 1=1[V_{GS}-2]^2 \Rightarrow V_{GS}=3$$

$$\rightarrow R=\frac{10-3}{1m}=7k\Omega$$

۸۸) در منبع جریان شکل مقابل دو ترانزیستور مشابه و $k'_n\frac{W}{L}=0.8\frac{mA}{V^2}$ می‌باشد. مقدار R_p برحسب kΩ چند باشد تا I_o برابر $100\mu A$ باشد؟ (Q_2 در ناحیهٔ فعال است).



۱) ۱٫۲۵ ۲) ۲٫۵ ۳) ۵ ۴) ۱۰

$$k'_n\frac{W}{L}=0.8 \rightarrow k'_n=\mu_n C_{ox}$$

$$\rightarrow k=\frac{1}{2}\mu_n C_{ox}=\frac{1}{2}\times 0.8=0.4\frac{mA}{V^2}$$

$$V_{GS_1}=V_{GS_2}+R_p I_o \quad , \quad I_D=k[V_{GS}-V_T]^2$$

$$\rightarrow \sqrt{\frac{I_{D_1}}{k}}+V_T=\sqrt{\frac{I_{D_2}}{k}}+V_T+R_p(k\Omega)\times 0.1mA \rightarrow \sqrt{\frac{0.4mA}{0.4}}=\sqrt{\frac{0.1}{0.4}}+R_p\times 0.1$$

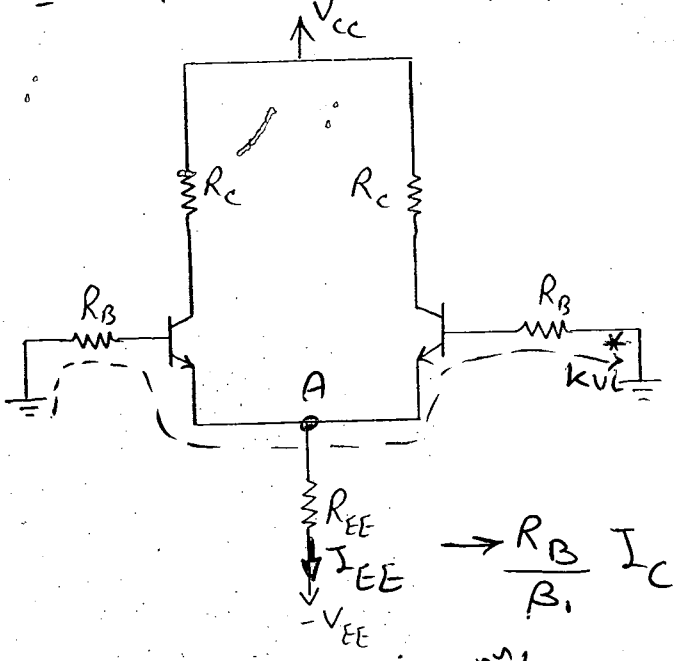
$$\rightarrow \left(1-\frac{1}{2}\right)=R_p\times 0.1 \rightarrow R_p=\frac{1}{2}\times 10=5k\Omega$$

LearnElement.ir

$$V_{BE} = V_T \ln\left(\frac{I_C}{I_S}\right)$$

تقویت کننده‌های تفاضلی: مطلوب این است که خروجی‌ها با هم برابر باشند یعنی $I_{C_1} = I_{C_2}$ حول نقطه‌ی کار خود متقارن خواهند شد.

تحلیل DC تقویت کننده‌های تفاضلی:



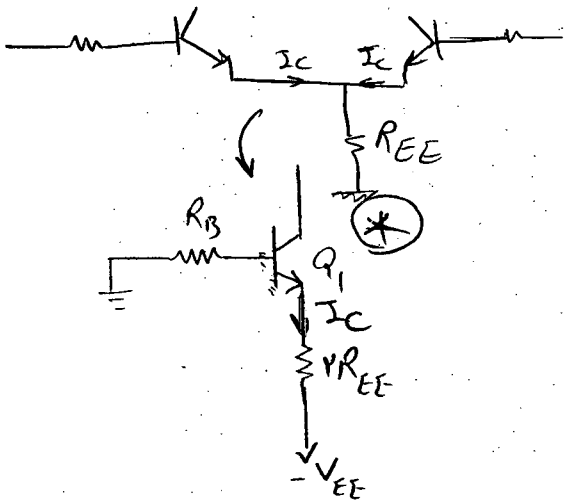
ابتدا مسیر بیس تا بیس را در نظر می‌گیریم:

$$kvl: R_B \frac{I_{C_1}}{\beta_1} + V_{BE_1} = R_B \frac{I_{C_2}}{\beta_2} + V_{BE_2}$$

$$\rightarrow \frac{R_B}{\beta_1} I_{C_1} + V_T \ln\left(\frac{I_{C_1}}{I_{S_1}}\right) = \frac{R_B}{\beta_2} I_{C_2} + V_T \ln\left(\frac{I_{C_2}}{I_{S_2}}\right)$$

اگر ترانزیستورها مشابه باشند: $(V_{T_1} = V_{T_2},\ \beta_1 = \beta_2,\ I_{S_1} = I_{S_2})$ و متقارن نسبت به A:

$$\boxed{I_{C_1} = I_{C_2} = \frac{I_{EE}}{2}}$$

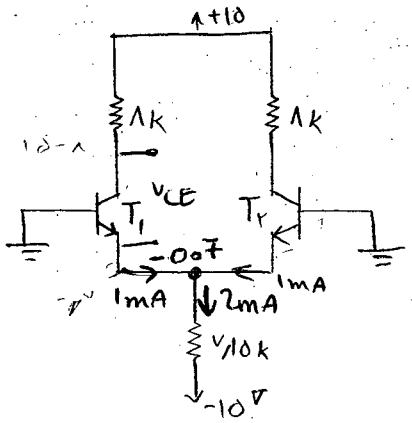


$$\xrightarrow{*} I_C = \frac{|V_{EE}| - |V_{BE}|}{2R_{EE} + \frac{R_B}{\beta}}$$

$$I_{EE} = \frac{|V_{EE}| - |V_A|}{R_{EE}}$$

کاردانی به کارشناسی ۸۳) در مدار مقابل توان تلف شده در ترانزیستور T_1 چند میلی وات است؟ $(\beta = 200,\ V_{BE} = 0.7V)$

۱) ۳۰ ۲) ۱۵ ۳) ۱۴٫۱۴ ۴) ۷٫۷



$$P_C = V_{CE} I_C$$

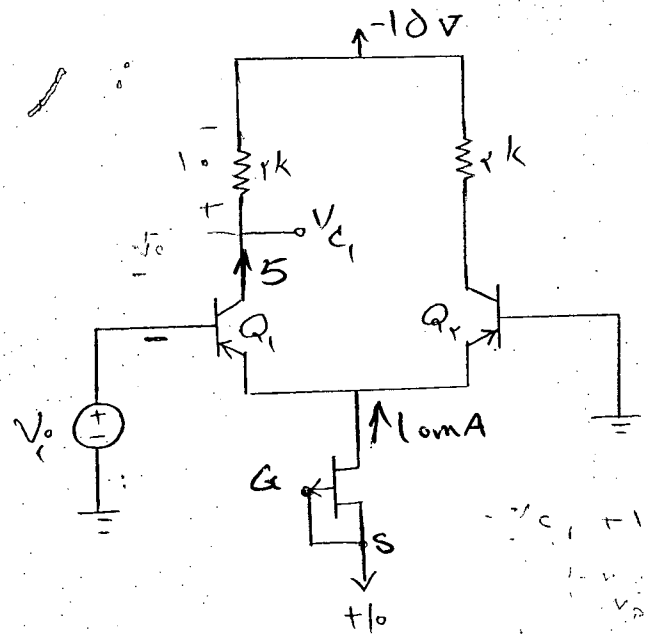
$$V_{CE} = 15 - 8\times 1 = 7 - (-0.7) = 7.7$$

$$P_C = 7.7 \times 1^m = \boxed{7.7mw}$$

LearnElement.ir

جزوه الکترونیک ۱ استاد باغستانی (تابستان ۱۳۹۰)

کاردانی به کارشناسی - آزاد ۸۳) در شکل داده شده با فرض $I_{DSS}=10mA$ برای ترانزیستور Q_3 به ازای $V_i=0$ ولتاژ کلکتور Q_1 چند ولت است؟



۱) صفر ۲) ۵ ۳) -۵ ۴) -۱۰

$V_{GS}=0 \rightarrow I_D=I_{DSS}=10mA$

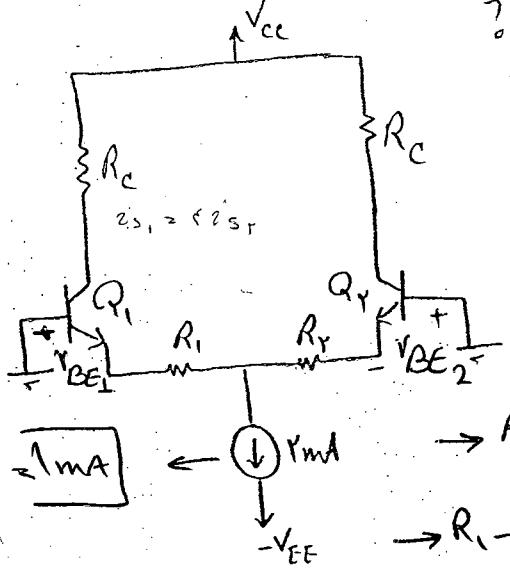
$V_{C_1}=5\times 2-15=-5$

$-V_{C_1}+10-15=0$

$-V_{C_1}=5$

$V_{C_1}=-5$

برق - ۸۰) در مدار زیر سطح مقطع امیتر Q_1 دو برابر سطح مقطع امیتر Q_2 می باشد. مناسبترین مقدار R_1 و R_2 را به ترتیب برحسب اهم چنان باید که $I_{EQ_1}=I_{EQ_2}$ باشد؟



$V_T=26mV$

$A_{E_1}=4A_{E_2} \rightarrow I_{S_1}=4I_{S_2}$

$V_{BE_1}+R_1I_{C_1}=V_{BE_2}+R_2I_{C_2}$

۱) ۰,۳۶ ۲) ۰,۰ ۳) ۰,۳۶ ۴) ۱۰,۴۶

$I_{C_1}=\frac{2}{2}=1mA$

$\rightarrow R_1-R_2=V_{BE_2}-V_{BE_1}$

$\rightarrow R_1-R_2=V_T\ln\left(\frac{I_{C_2}}{I_{S_2}}\right)-V_T\ln\left(\frac{I_{C_1}}{I_{S_1}}\right)$

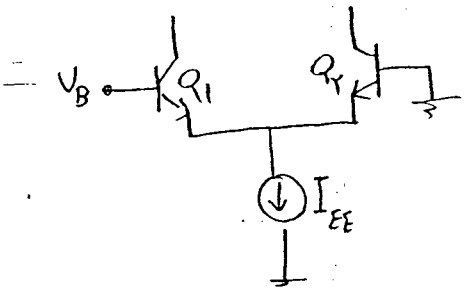
$\rightarrow R_1-R_2=V_T\ln\left(\frac{\frac{I_{C_2}}{I_{S_2}}}{\frac{I_{C_1}}{I_{S_1}}}\right)=V_T\ln\left(\frac{I_{S_1}}{I_{S_2}}\right)=26\times10^{-3}\times\ln 4$

$=36\times10^{-3}k\Omega=36\Omega$

مناسبترین R_1, R_2: $\begin{cases}36=R_1\\0=R_2\end{cases}$

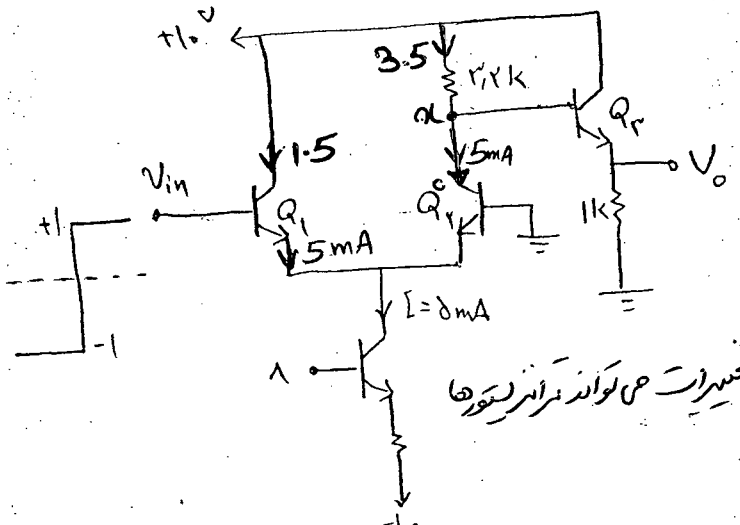
LearnElement.ir

نکته: در صورتیکه ولتاژ بین یکی از ترانزیستورهای Q_1 یا Q_2 به صورت قابل توجهی ($V_B \gg V_T$) ولتاژ بیس ترانزیستور دیگر شود آنگاه آن ترانزیستور کاملاً روشن و کل جریان I_{EE} را از خود عبور می دهد و ترانزیستور دیگر قطع خواهد شد.



$V_B \gg V_T \Rightarrow I_{C_1} = I_{EE}$, $I_{C_2} = 0$

برق ۸۲) در مدار شکل زیر اگر ورودی V_{in} به صورت پله‌ای از ۱- ولت به ۱+ ولت برود تغییرات ولتاژ خروجی V_o (ΔV_o) چند ولت است؟



$\beta = 200$
$V_{BE}(on) = V_{BE}(sat) = 0.7\,V$
$V_{CE}(sat) = 0$

۱) ۸٫۱

۲) ۹٫۱۵

۳) ۱۰

۴) ۱۱٫۴

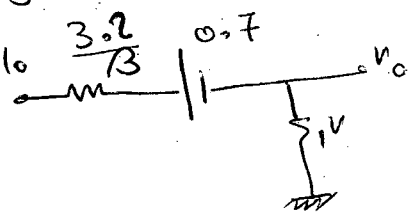
حول ۰ ولت حتی بهتر V_T است پس این تغییرات می تواند ترانزیستورها را روشن و خاموش کند.

if $V_i = -1^V$ → نازی → Q_1 : off , Q_2 : on → $I_{C_2} = 5mA$ → $V_{R_C} = 10 - 3.2 \times 5 < 0$

→ $V_{CE_2} < 0$ → (اشباع) Q_2 → $V_{CE_2} = V_{CE(sat)} = 0$ → $V_{CO_2} = -0.7$

Q_3 (off) ← $I_{C_3} = 0$ ← $V_o \Big|_{V_i = -1} = 0$ ← $\frac{3.5}{} = \frac{10 - 0.7}{3.2}$

if $V_i = 1^V$ → Q_1 : on , Q_2 : off → $I_{C_2} = 0$ → تقسیم ولتاژ V_o

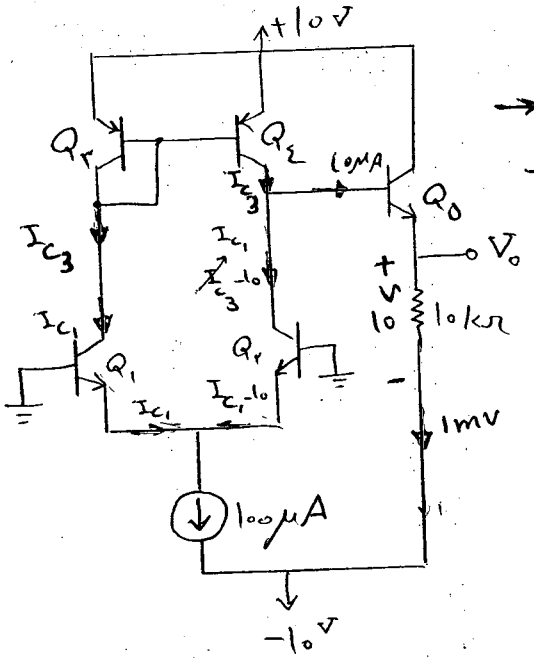


$$\rightarrow V_o = (10 - 0.7) \times \frac{1^k}{1^k + \frac{3.2}{200}} = 9.15^V$$

LearnElement.ir

www.bargh-arshad.com

ارشد ۸۲- اگر $V_o(dc)=0$ باشد جریان ترانزیستورهای Q_1 و Q_2 چند میلی آمپر (μA) خواهد بود؟ ($\beta=100$)



$$2I_{C_1}-10\mu A=100\mu A \rightarrow I_{C_1}=55\mu A$$

$$I_{C_2}=55-10=45\mu A$$

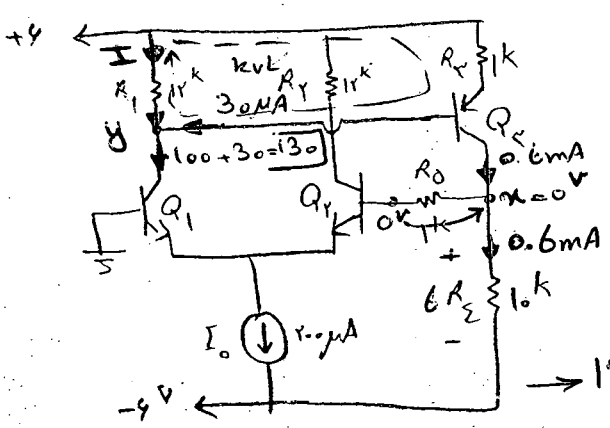
۱) $I_{C_1}=۶۰$ ، $I_{C_2}=۴۰$

۲) $I_{C_1}=۵۵$ ، $I_{C_2}=۴۵$

۳) $I_{C_1}=۵۰$ ، $I_{C_2}=۵۰$

۴) $I_{C_1}=۴۵$ ، $I_{C_2}=۵۵$

برق ۸۴- در مدار شکل زیر جریان I_{C_1} به کدام مقدار نزدیک‌تر است؟



$$\begin{cases} V_{BE_1}=V_{BE_2}=V_{BE_3}=0.7V \\ \beta_{1,2}=250 \ ,\ \beta_3=20 \end{cases}$$

$$kvl: 12I=1^k\times 0.6+0.6$$

$$\rightarrow 12I=1.2 \rightarrow I=0.1mA=100\mu A$$

۱) $50\mu A$

۲) $100\mu A$

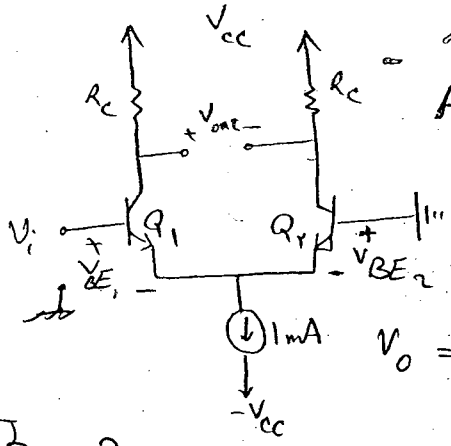
۳) $118\mu A$

۴) $120\mu A$

LearnElement.ir

www.barg1-arshad.com

اتوماسیون - ۱۶) در مدار شکل زیر مساحت دیود بین-امیتر ترانزیستور Q_1 ده برابر Q_2 است. به ازای چه مقدار از V_i، ولتاژ خروجی V_{out} صفر خواهد بود؟ ترانزیستورهای Q_1 و Q_2 در ناحیهٔ فعال بایاس شده‌اند.



$V_{BE} \simeq 50^{mV} \log\left(\frac{I_C}{I_S}\right)$

$A_{E_1} = 10 A_{E_2} \rightarrow I_{S_1} = 10 I_{S_2}$

اگر $V_o = 0 \rightarrow I_{C_1} = I_{C_2}$

$V_o = 0 \rightarrow R_{C_1} I_{C_1} = R_{C_2} I_{C_2}$

$I_{S_1} = 10 I_{S_2}$ و $I_{C_1} = I_{C_2}$ $\rightarrow V_{BE_1} < V_{BE_2} \rightarrow V_i = V_{BE_1} - V_{BE_2} < 0$

$\rightarrow I_{C_1} = 0.5mA$

۱) $V_i = 28\,mV$

۲) $V_i = 50\,mV$

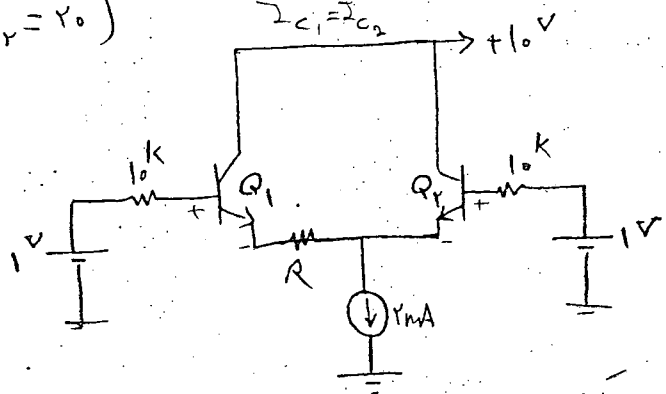
۳) $V_i = -28\,mV$

۴) $V_i = -50\,mV$

KVL: $V_i = V_{BE_1} - V_{BE_2} = 50\times10^{-3}\log\left(\frac{I_{C_1}}{I_{S_1}}\right) - 50\times10^{-3}\log\left(\frac{I_{C_2}}{I_{S_2}}\right)$

$= 50\times10^{-3}\log\left(\frac{I_{C_1}/I_{S_1}}{I_{C_2}/I_{S_2}}\right) = 50\times10^{-3}\left(\log\left(\frac{I_{S_2}}{I_{S_1}}\right)\right) = 50\times10^{-3}\times\log\left(\frac{1}{10}\right) = -50\,mV$

اتوماسیون - ۱۷) در تقویت‌کننده تفاضلی شکل زیر با فرض تعادل جریان تقطه‌کار ترانزیستورها مقدار R به کدام گزینه نزدیک‌تر است؟ ($\beta_1 = 40$ ، $\beta_2 = 20$)



۱)
۲) ۲۵۰ Ω
۳) ۵۰۰ Ω
۴) ۷۵۰ Ω

برای حل باید از بین تا بین KVL بنویسیم.

$-1 + 10\times\frac{I_{C_1}}{40} + V_{BE_1} + R I_{C_1} - V_{BE_2} - 10\times\frac{I_{C_2}}{20} + 1 = 0$

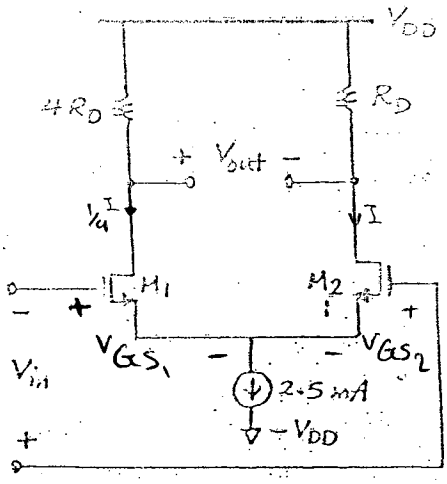
$\frac{10}{40} + R - \frac{10}{20} = 0$

$R = \frac{1}{4}k = 250\,\Omega$

LearnElement.ir

آزمون ۸۹) در مدار شکل مقابل ترانزیستورهای M_1 و M_2 در ناحیه اشباع بایاس شده‌اند. به ازای چه مقدار از ورودی V_{in} برحسب ولت ولتاژ خروجی V_{out} برابر با صفر خواهد بود؟

۱) ۰/۱
۲) ۰/۱۵
۳) ۰/۲
۴) ۰/۲۵



$\mu_n C_{ox}\left(\frac{W}{L}\right)_{1,2} = 100\ mA/V^2$

$4R_D \times I_{D_1} = R_D I_{D_2} \rightarrow 4I_{D_1} = I_{D_2} \rightarrow 4\left[\frac{1}{2}\mu_C co_n \left(\frac{W}{L}\right)(V_{GS}-V_T)^2\right] = k\left[V_{GS}-V_T\right]^2$

$k = 100\frac{mA}{V^2}$

$\rightarrow 4 \times 50 (V_{GS_1}-V_T)^2 = 50 (V_{GS_2}-V_T)^2$

$\rightarrow 2(V_{GS_1}-V_T)^2 = (V_{GS_2}-V_T)^2$

$I_{D_1}+I_{D_2} = 2.5 \rightarrow 5I_{D_1} = 2.5 \rightarrow \boxed{I_{D_1} = 0.5} = k\left[V_{GS_1}-V_T\right]^2$

$\boxed{I_{D_2} = 2mA} = k\left[V_{GS_2}-V_T\right]^2$

$\rightarrow 0.5 = 50\left[V_{GS_1}-V_T\right]^2 \rightarrow 0.1 = V_{GS_1}-V_T$

$\rightarrow 2 = 50\left[V_{GS_2}-V_T\right]^2 \rightarrow 0.2 = V_{GS_2}-V_T$

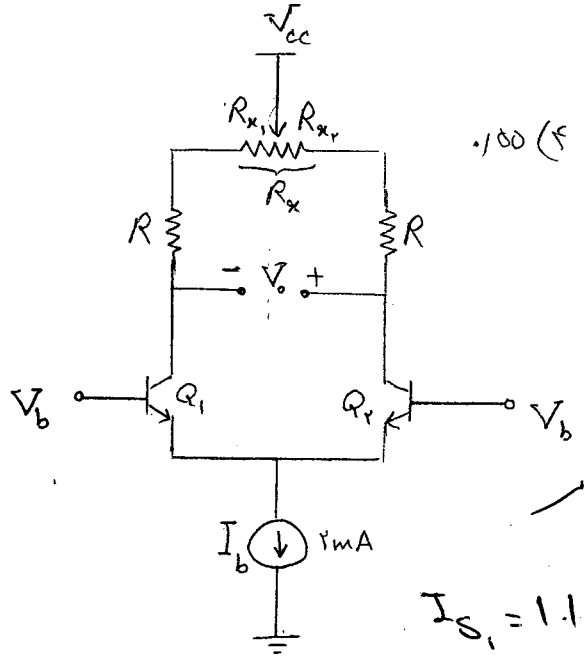
$\rightarrow 0.2-0.1 = V_{GS_2}-V_{GS_1} \rightarrow \boxed{0.1 = V_{in}}$

LearnElement.ir

www.bargh-arshad.com

برق - ۹۰) در مدار شکل مقابل، کل مقاومت پتانسیومتر (R_x) برابر ۲kΩ است و مساحت پیوند بیس-امیتر Q_1، ۱۰٪ از مساحت پیوند بیس امیتر Q_2 بزرگتر است. اگر سر وسط پتانسیومتر در مرکز آن قرار گیرد ($R_{x_1} = R_{x_2}$)، ولتاژ خروجی (V_o) برابر ۰.۲ ولت خواهد بود. برای صفر شدن ولتاژ خروجی، نسبت R_{x_1} به R_x چقدر باید باشد؟

۱) ۰.۴۰ ۲) ۰.۴۵ ۳) ۰.۴۰ ۴) ۰.۵۰



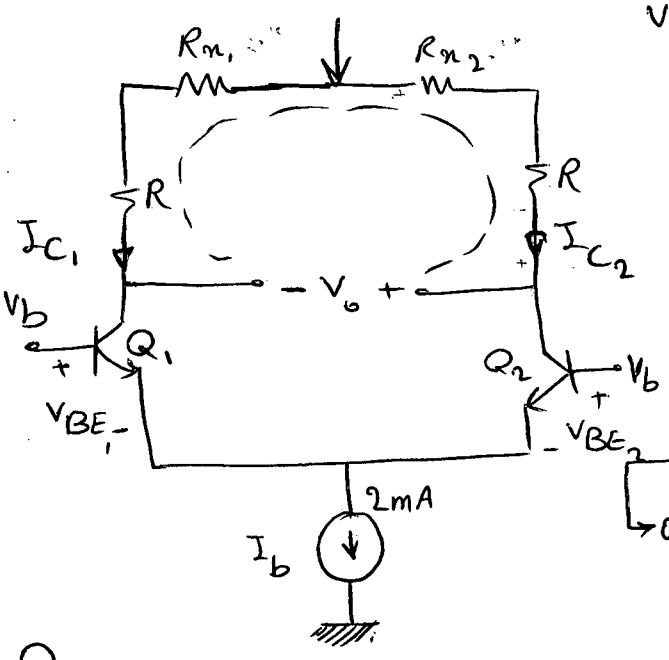
$$R_x = R_{x_1} + R_{x_2} = 2k\Omega$$

$$A_{E_1} = 1.1 A_{E_2}$$

اگر $R_{x_1} = R_{x_2} \rightarrow V_o = 0.2\,V$

$$I_{S_1} = 1.1 I_{S_2},\quad V_{BE_1} = V_{BE_2} \rightarrow \begin{cases} I_{C_1} = 1.1 I_{C_2} \\ I_{C_1} + I_{C_2} = 2mA \end{cases}$$

$$\rightarrow 2.1 I_{C_2} = 2mA \rightarrow I_{C_2} = \frac{20}{21}\,mA$$



① $R_{x_1} = R_{x_2} = \frac{2k\Omega}{2} = 1k\Omega$

$$I_{C_1} = 2 - \frac{20}{21} = \frac{22}{21}\,mA$$

② $V_o = -RI_{C_2} - R_{x_1} I_{C_2} + R_{x_1} I_{C_1} + RI_{C_1}$

$$0.2 = R[I_{C_1} - I_{C_2}] + (I_{C_1} - I_{C_2})$$

$$0.1 = R \times 0.1 \rightarrow R = 1k\Omega$$

① $\rightarrow I_{C_2} - I_{C_1} = \frac{22-20}{21} \simeq 0.1$

② $\rightarrow 0 = R[I_{C_1} - I_{C_2}] + R_{x_1} I_{C_1} - R_{x_2} I_{C_2} = 1 \times 0.1 + R_{x_1} I_{C_1} - I_{C_2}(R_x - R_{x_1})$

$$= 0.1 + R_{x_1}(I_{C_1} + I_{C_2}) - I_{C_2} \times R_x \Rightarrow 2R_{x_1} = R_x \times \frac{20}{21} - 0.1$$

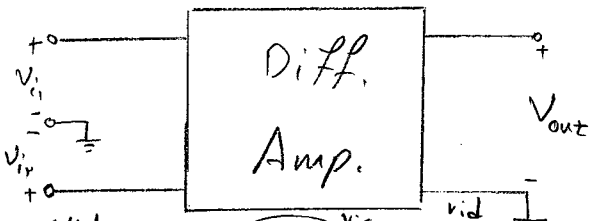
$$\rightarrow 2R_{x_1} = \frac{40}{21} - \frac{1}{10} \rightarrow \frac{R_{x_1}}{R_x} = \frac{20}{21} - \frac{1}{20} = \frac{400-21}{20\times 21} = \frac{380}{400} = \frac{19}{20} = 0.95$$

R_{x_1} R_{x_1} 0.95

LearnElement.ir

تحلیل ac تقویت کننده های تفاضلی :

سیگنال ac اعمالی به دو ورودی تقویت کننده ی تفاضلی می تواند شامل یک قسمت مشترک بین دو سیگنال (V_{ic}) و یک قسمت تفاضلی (V_{id}) باشد این تقویت کننده برای حذف نویز استفاده می شود. پس در طبقه دوم به بعد کاربرد ندارد.



$$v_{id} = v_{i_1} - v_{i_2}$$

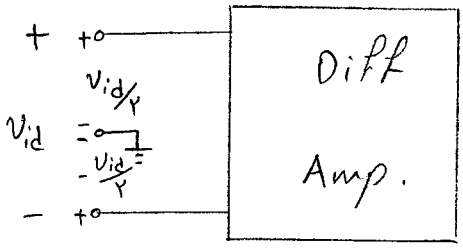
$$\begin{cases} v_{i_1} = v_{ic} + \frac{v_{id}}{2} \\ v_{i_2} = v_{ic} - \frac{v_{id}}{2} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} v_{i_1} = 2\sin\omega t + 3\cos\omega t \\ v_{i_2} = 2\sin\omega t - 3\cos\omega t \end{cases}$$

$$v_{id} = v_{i_1} - v_{i_2} = 6\cos\omega t$$

$$v_{ic} = \frac{v_{i_1} + v_{i_2}}{2} = \frac{4\sin\omega t}{2} = 2\sin\omega t$$

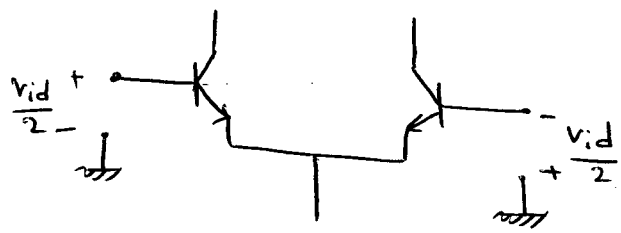
$$\rightarrow \begin{cases} v_{i_1} = 5 = 4 + 1 \\ v_{i_2} = 3 = 4 - 1 \end{cases} \qquad v_{ic} = \frac{5+3}{2} = 4$$

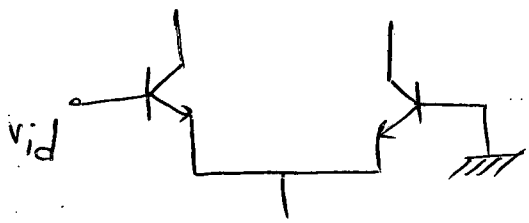
تحلیل ac تقویت کننده درحالت تفاضلی (Diff. Mode)

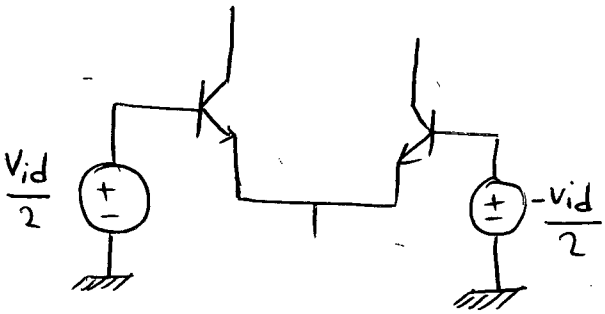


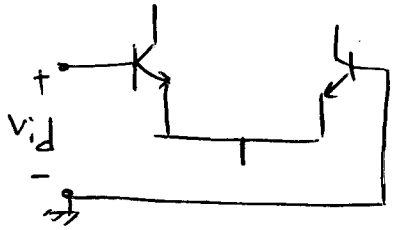
$$\begin{cases} v_{i_1} = \frac{v_{id}}{2} \\ v_{i_2} = -\frac{v_{id}}{2} \end{cases}$$

مدارهای زیر را درحالت تفاضلی فرض می کنیم :

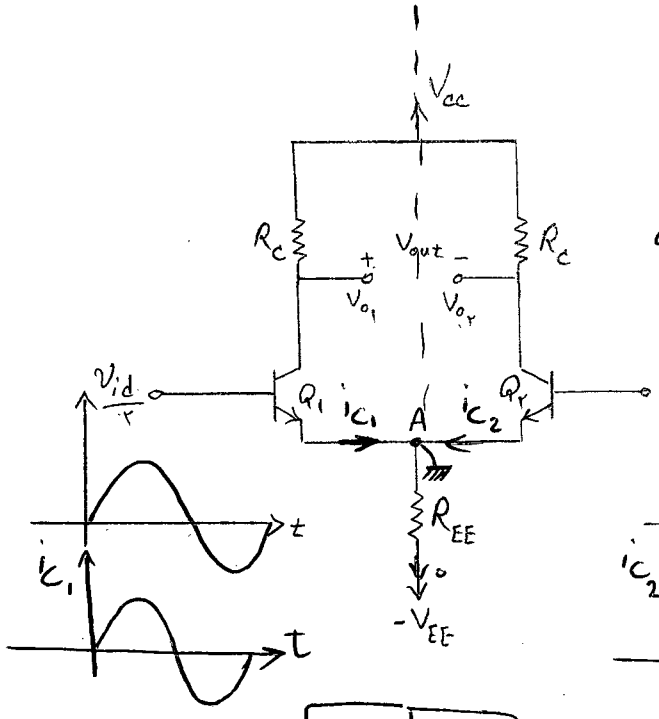




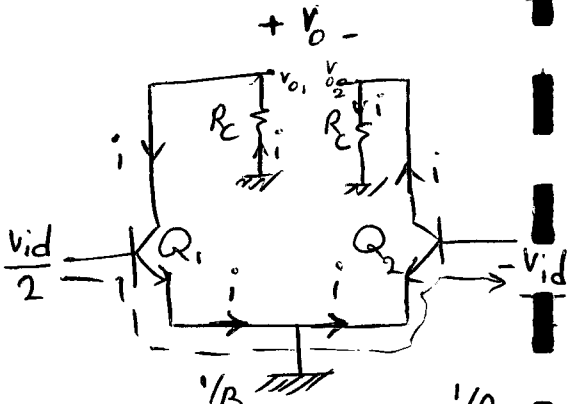


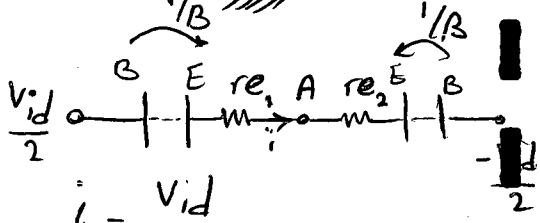


LearnElement.ir



اسمودار در حالت ac
در حد تقاضلی





$$i = \frac{V_{id}}{re_1 + re_2}$$

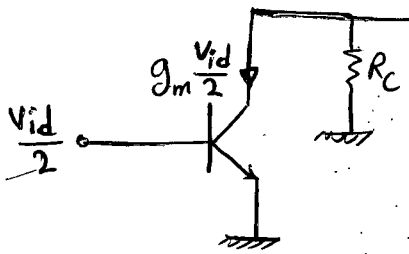
if $(re_1 = re_2)$ (یعنی جریان $I_{C_1} = I_{C_2}$)

$$i = \frac{V_{id}}{2re}$$

$$\begin{cases} V_{o_1} = -R_C \cdot i = \dfrac{-R_C}{2re} \cdot V_{id} \\ V_{o_2} = +R_C \cdot i = +\dfrac{R_C}{2re} \cdot V_{id} \end{cases} \rightarrow A_d$$ (بهره تفاضلی)

$$V_{out} = V_{o_1} - V_{o_2} = -2\left(\frac{R_C}{2re} \cdot V_{id}\right) = \frac{-R_C}{re} V_{id}$$

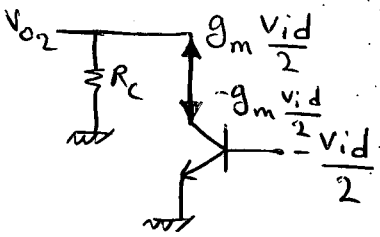
مدار را از بین تا بین منبت به نقطه A متقارن فرض کرده از روش نیم مدار به صورت زیر استفاده کرد:



$$V_{o_1} = -g_m \frac{V_{id}}{2} \cdot RC = \frac{-R_C}{2re} V_{id}$$

or

$$V_{o_1} = \frac{-R_C}{re} \cdot \frac{V_{id}}{2}$$



$$V_{o_2} = \frac{g_m}{2} \cdot RC \cdot \frac{V_{id}}{2} = \frac{g_m \cdot R_C}{2} \cdot V_{id} = \frac{R_C}{2re} V_{id}$$

or

$$V_{o_2} = \frac{-R_C}{re} \times \left(\frac{-V_{id}}{2}\right)$$

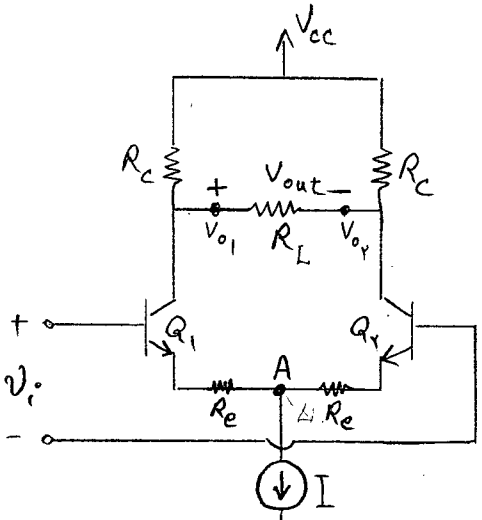
$$\frac{V_o}{2} = V_{o_1} = -g_m \times \frac{V_i}{2} \times R_C$$

$$\rightarrow \frac{V_o}{V_i} = -g_m \times R_C$$

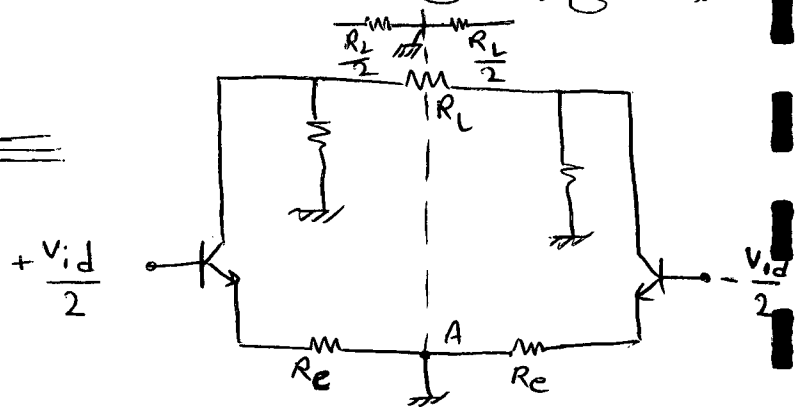
LearnElement.ir

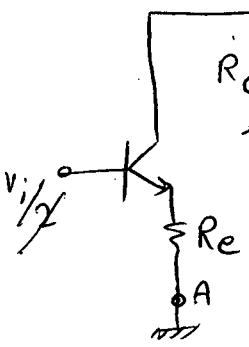
جزوه آموزشی استاد باغستانی (تابستان ۱۳۹۰)

مدل بیم مدار در حالت تفاضلی ؛ درصورت متقارن بودن [از بیس تا بیس نسبت به نقطه A] تقویت کننده تفاضلی را می توان از نقطه A نصف کرد.



$\equiv$





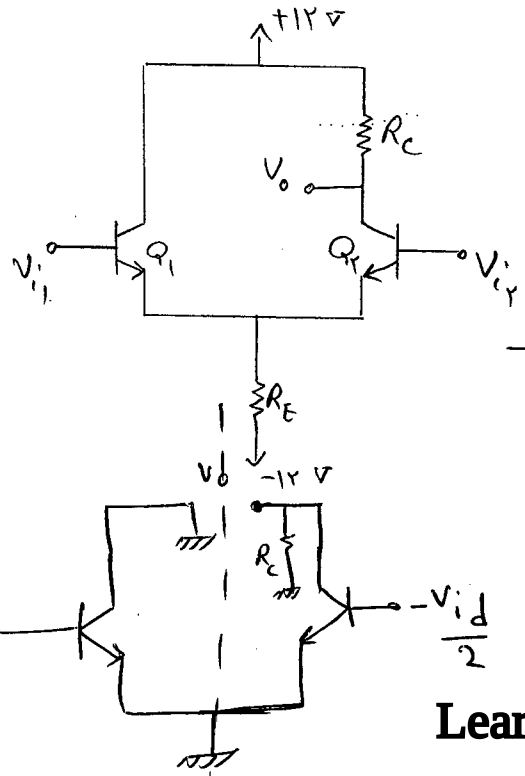
$V_{o1} = \frac{V_{out}}{2}$ $\quad V_{o1} = -\frac{R_c \| R_L/2}{R_e + r_e} \cdot \frac{V_i}{2} \Rightarrow$

$$\rightarrow \boxed{\frac{V_{out}}{2} = -\frac{R_c \| R_L/2}{r_e + R_e} \cdot \frac{V_i}{2}}$$

کاربردی - کارشناسی : در تقویت کننده زیر مقدار R_e را چند کیلو اهم انتخاب کنیم تا بهره تفاضلی مساوی ۱۰۰ شود.

آزاد-۸۰) فرض کنید ($h_{ie} = 1k\Omega$, $h_{fe} = 100$)

۱) ۰/۵ ۲) ۱ ۳) ۴ ۴) ۲



$$V_o = -\frac{R_c}{r_e} \cdot -\frac{V_{id}}{2} =$$

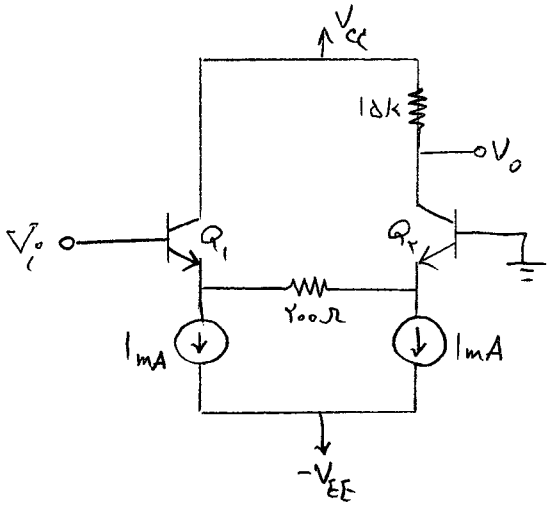
$$\rightarrow A_d = \frac{V_o}{V_{id}} = \frac{R_c}{2r_e} = \frac{\beta R_e}{2h_{ie}} = \frac{100 \times R_e}{2 \times 1^k} = 10$$

$$\rightarrow \boxed{R_e = 2k\Omega}$$

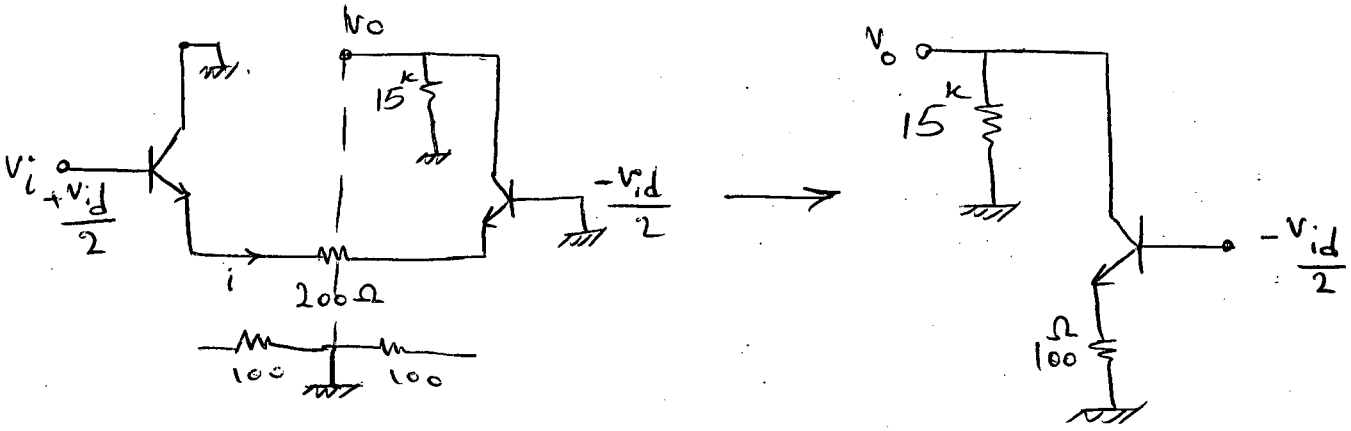
LearnElement.ir

کاردانی به کارشناسی - ۸۶ آزاد) در تقویت‌کننده‌ی شکل زیر، با فرض $V_T = 25mV$ مقدار بهره‌ی ولتاژ $\frac{V_o}{V_i}$ کدام است؟

۱) ۳۰
۲) ۴۰
۳) ۶۰
۴) ۱۲۰



$I_C = 1mA \longrightarrow re = 25\Omega = \frac{1}{40}k \Rightarrow g_m = 40$



$$V_o = -\frac{15^k}{100^\Omega + re} \times \frac{-V_i}{2} \Rightarrow \frac{V_o}{V_i} = \frac{15^k \times 1}{\frac{1}{4}k} = +60$$

$125 \times 2 = 250^\Omega = \frac{1}{4}k$

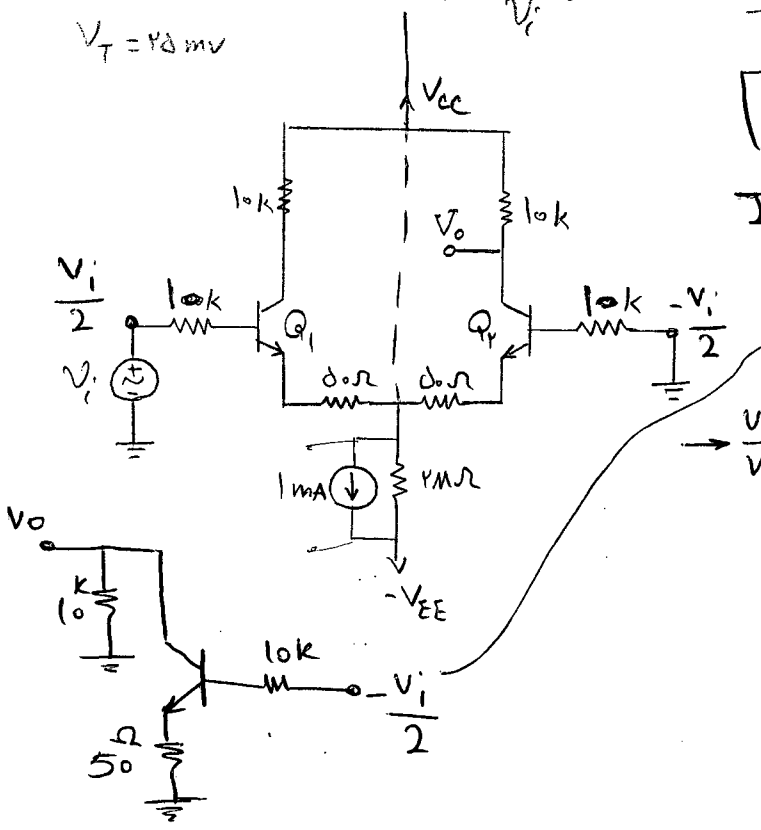
LearnElement.ir

www.bargh-arshad.com

کاردانی به کارشناسی - ۸۶ / آزاد) در تقویت کننده‌ی شکل زیر، بهره ولتاژ $\frac{V_o}{V_i}$ کدام است؟

$\beta = 100$

$V_T = 25\,mV$



۱) ۱۲٫۵ ۲) ۵۰ ۳) ۱۰۰ ۴) ۲۵

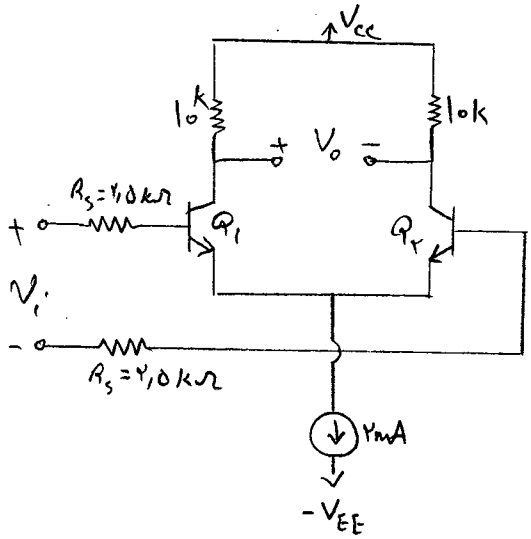
$I_{C_{1,2}} = 0.5\,mA \rightarrow re = 50\Omega$

$$V_o = -\frac{10^k}{50\Omega + re + \frac{10k}{\beta}} \times \left(-\frac{V_i}{2}\right)$$

$$\rightarrow \frac{V_o}{V_i} = \frac{10^k}{200\Omega \times 2} = +25$$

کاردانی به کارشناسی - ۸۷) در تقویت کننده‌ی مقابل $\left|\frac{V_o}{V_i}\right|$ کدام است؟ $(V_T = 25\,mV,\ \beta = 100)$

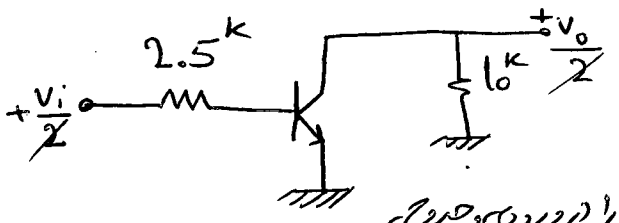
۱) ۱۰۰ ۲) ۲۰۰ ۳) ۳۰۰ ۴) ۴۰۰



$I_C = 1\,mA \rightarrow re = 25\Omega$

$$\rightarrow V_o = -\frac{10^k}{\underbrace{re + \frac{2500}{100}}_{\frac{1}{20}k}} V_i \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{V_o}{V_i} = -\frac{10^k}{1/20^k} = 200$$

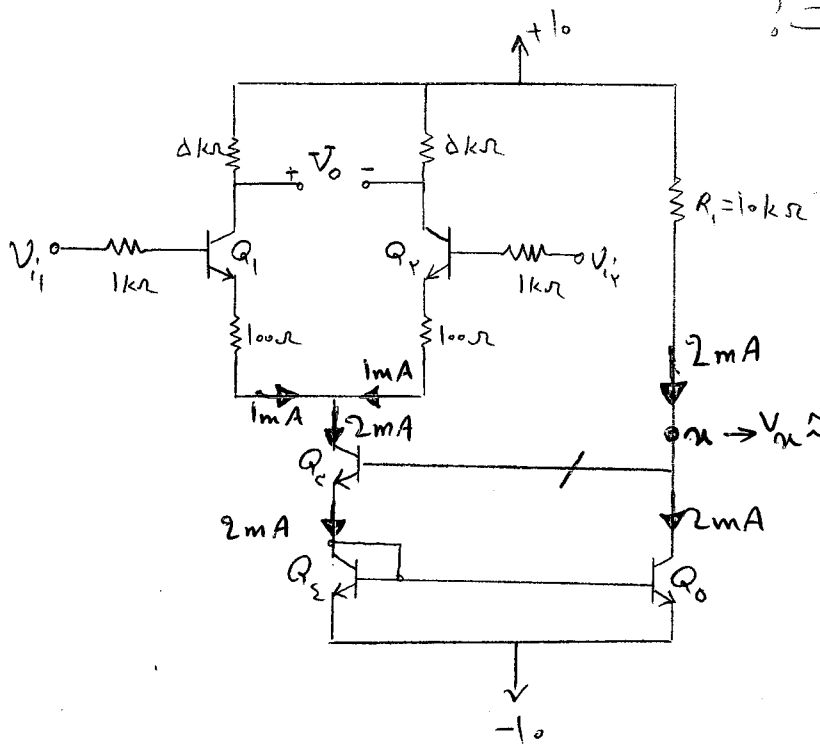


باید در محاسبات دقت شود که $\frac{V_o}{2}$ یا $\frac{V_i}{2}$ را در ورودی و خروجی در نظر بگیریم هرکدام چون ... که در گزینه‌ها موجود است.

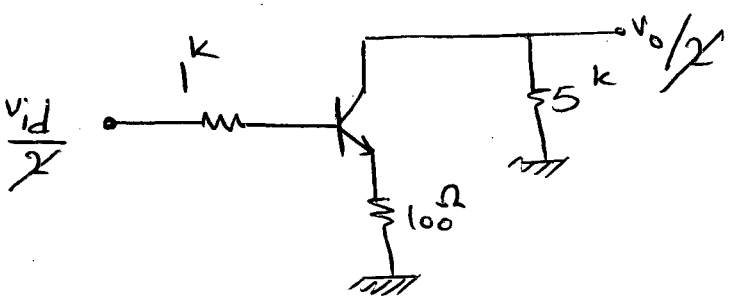
LearnElement.ir

کارشناسی ارشد ۹۸- ۱۵) در شکل زیر فرض کنید $V_{BE}=0.7V$ ، $\beta=50$ ، $V_T=25mV$ است، بهره ولتاژ $\left|\frac{V_o}{V_{i_1}-V_{i_2}}\right|$ کدام است؟

۱) ۱۷ ۲) ۲۴ ۳) ۶۸ ۴) ۱۳۶



$I_C=1mA \Rightarrow re\simeq 25$



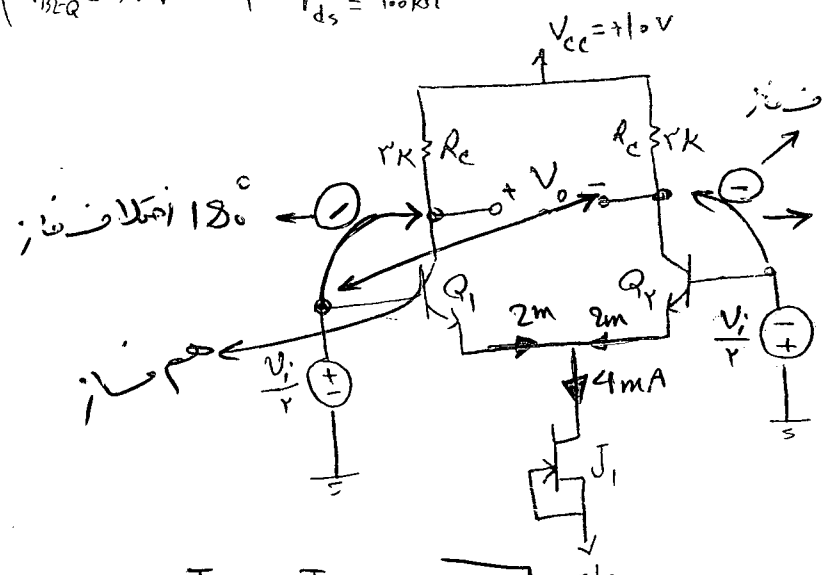
$$\frac{V_o}{V_{id}} = -\frac{5^k}{100^\Omega + \frac{re}{25} + \frac{1000^\Omega}{\beta}}$$

$$= \frac{-5000}{145} \simeq -34$$

LearnElement.ir

$\beta = 100$, $V_T = 25mV$, $V_{BEQ} = 0.7V$, $I_{DSS} = 8mA$, $|V_p| = 4V$, $r_{ds} = 100k\Omega$

(ق-۱۴) در مدار زیر A_d را حساب کنید ($A_d = \frac{V_o}{V_i}$)



$$\frac{V_o}{V_i} = -\frac{3^k}{re} = -\frac{3^k}{\frac{1}{80}k} = -240$$

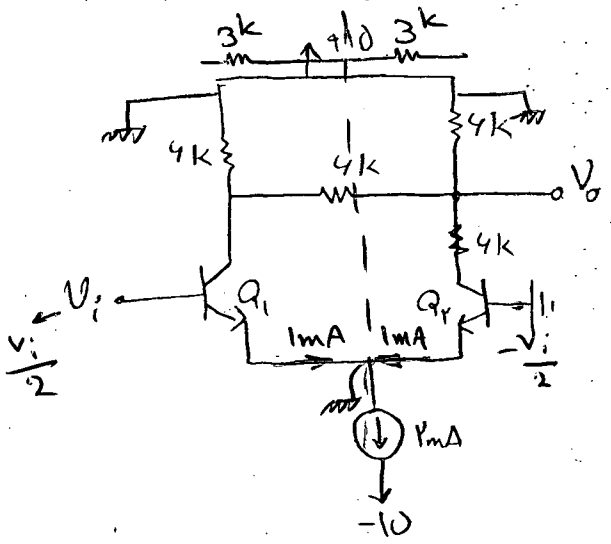
۱) -۱۲۰
۲) -۱۸۰
۳) -۲۴۰
۴) -۳۲۰

$V_{GS}=0 \rightarrow I_D = I_{DSS} = 4mA$

$I_{C_{1,2}} = 2mA \Rightarrow re = 12.5 = \frac{1}{80}k\Omega$

$g_m = 80\frac{mA}{V}$

(ق-۱۶) در مدار شکل مقابل بهره $\frac{V_o}{V_i}$ کدام است؟ ($\beta=100$, $V_A=\infty$, $V_{BE}=0.7V$, $V_T=25mV$)



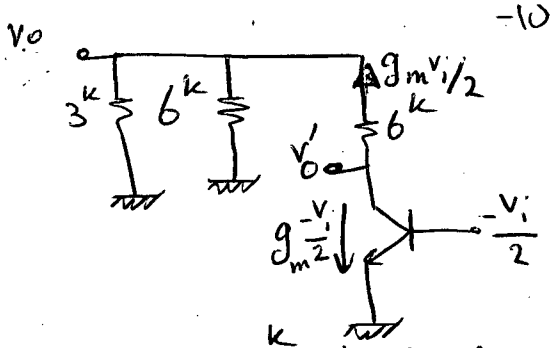
۱) ۴۰
۲) ۸۰
۳) ۱۰۰
۴) ۱۲۰

$I_{C_{1,2}} = 1mA \rightarrow re = 25\Omega = \frac{1}{40}k\Omega$

$g_m = 40\frac{mA}{V}$

$$V_o = g_m \frac{V_i}{2} \times [3^k \| 6^k] = g_m V_i$$

$$\rightarrow \frac{V_o}{V_i} = g_m = 40$$



Or

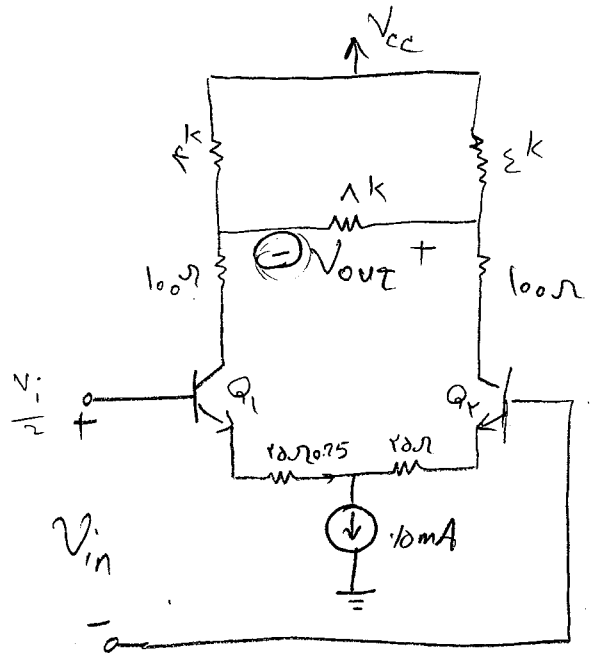
$$V_o = -\frac{3^k \| 6^k}{re} \times \left(\frac{V_i}{2}\right) \Rightarrow \frac{V_o}{V_i} = \frac{2^k}{2re} = \frac{1}{re} = g_m = 40$$

$$V_o' = -\frac{6^k + 2^k}{6^k}\left[-\frac{V_i}{2}\right] \rightarrow V_o = \frac{2^k}{2^k + 6^k} + V_o'$$

LearnElement.ir

www.barghe-arshad.com

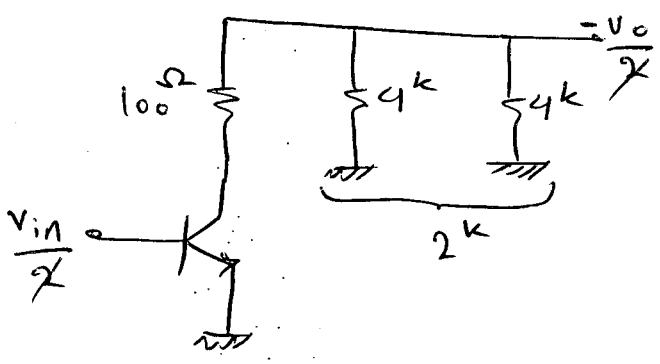
کارشناسی ارشد - الکترونیک ۸۸) در مدار تقویت کننده شکل مقابل ترانزیستورهای Q_1 و Q_2 باهم یکسان بوده و در ناحیه فعال بایاس شده‌اند. مقدار بهره تفاضلی $A_d = \frac{V_{out}}{V_{in}}$ آن برابر است با:



$\beta = 100$
$V_T = 25\,mV$
$V_A = \infty$

$I_{C_{1,2}} = 0.25 \rightarrow re = \frac{25m}{0.25m} = 100\,\Omega$

۱) ۱۶
۲) ۸
۳) ۲۰
۴) ۱۲



$+\frac{V_{out}}{V_{in}} = +\frac{2^k}{re+25} = \frac{2000}{125} = +16$

LearnElement.ir

برق - ۸۷) بهره ولتاژ $\frac{V_o}{V_d}$ در مدار مقابل به طور تقریبی برابر است با:

(تألیفی برق - ۸۳)

۱) ۲۰۰

۲) ۶۲

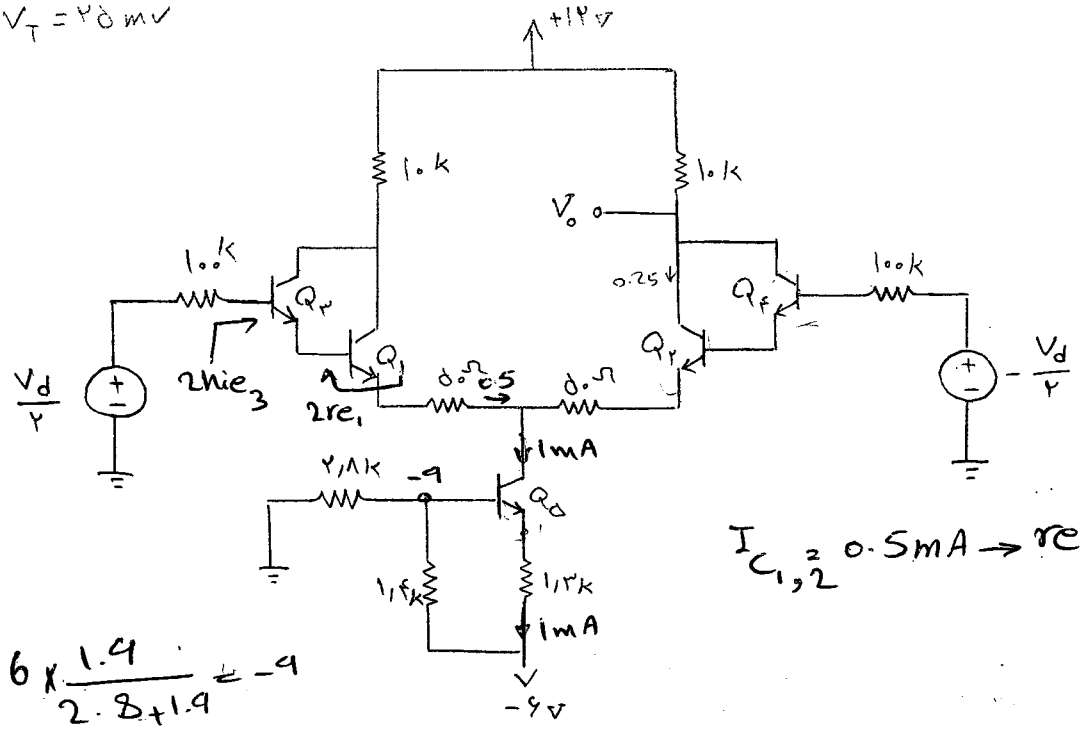
۳) ۴۵٫۵

۴) ۳۱

$V_{BE} = 0.7V$

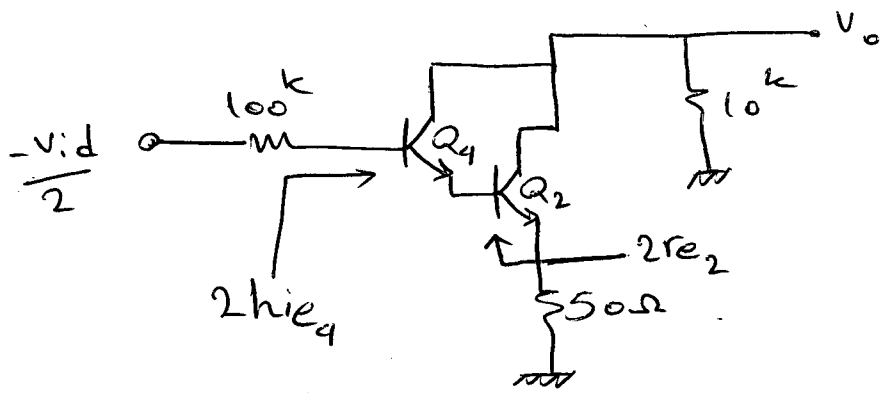
$\beta = 100$

$V_T = 25mV$



$-6 \times \frac{1.9}{2.8+1.9} \leftarrow -9$

$I_{C_{1,2}} = 0.5mA \rightarrow re = 50\Omega$



$$V_o = -\frac{10^k}{50 + 2re_2 + \frac{100 \times 10^3}{\underbrace{(10^9)}_{\beta^2}}} \times \left(-\frac{V_i}{2}\right)$$

$$\rightarrow \frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{2} \times \frac{5000}{50+100+10} = \frac{5000\Omega}{160\Omega} \simeq 31$$

LearnElement.ir

www.bargh-arshad.com

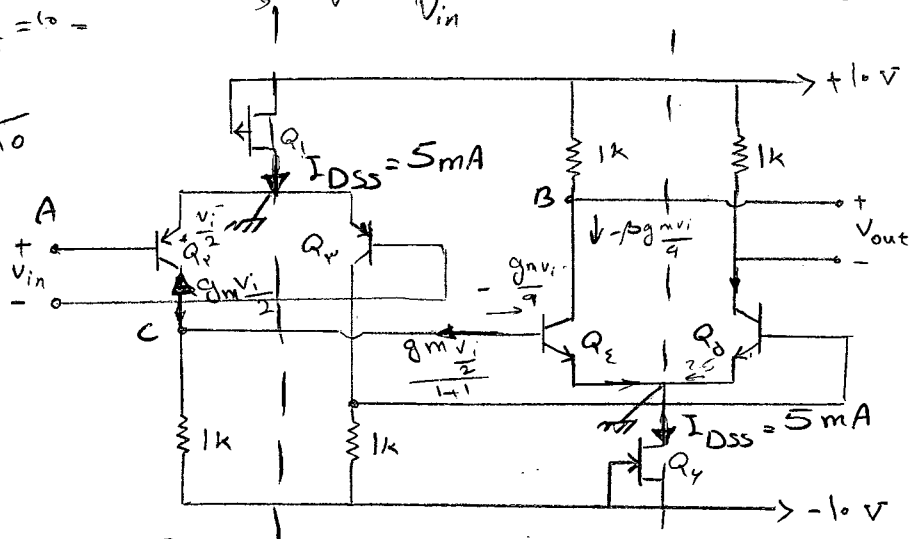
برق - ۱۲) در مدار شکل زیر برای JFET ها $I_{DSS}=5mA$ ، $|V_p|=1V$ است. و برای BJT ها $\beta=h_{fe}=100$ ، $\eta=1$ ، $V_T=25mV$ است. $A_v=\frac{V_{out}}{V_{in}}$ چقدر است؟

۱) -۵۰۰۰

۲) -۲۵۰۰

۳) +۵۰۰۰

۴) +۲۵۰۰

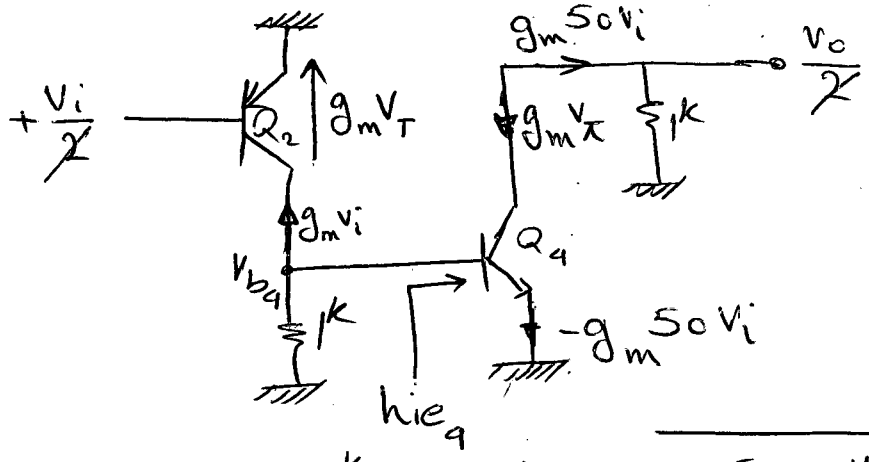


$r_e=\frac{25}{2.5}=10\ \Omega$

$g_m=\frac{1}{10}$

جواب مثبت است از A تا C ← 180° ← B ← 180° تفاوت فاز و از B تا C ← 180° ← جواب مثبت

$I_C=2.5mA \rightarrow r_e=10\Omega=\frac{1}{100}k \rightarrow g_m=\frac{100\ mA}{V} \rightarrow hie=10\times100=1^k$



$\frac{v_o}{2}=+g_m\times\beta\times\frac{v_i}{9}\times1000$

$v_o=+\frac{1}{10}\times100\times\frac{v_i}{2}\times1000$

$\frac{v_o}{v_i}=5000$

$V_{b4}=-g_m v_i\times(1^k \| hie_4)=-0.5 g_m v_i$

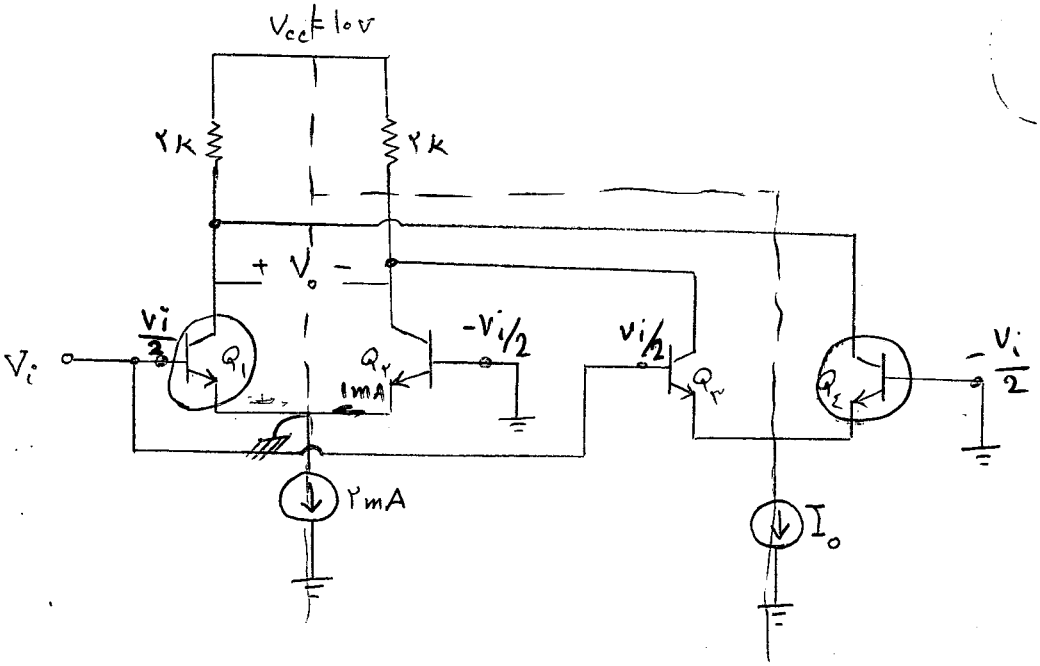
($1^k \| hie_4 = 0.5^k$)

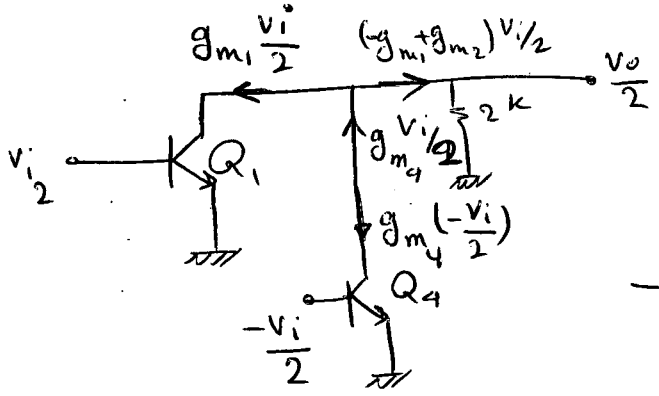
$V_o=1^k\times g_m\times50\times v_i=5000\,v_i$ ($g_m=100$)

LearnElement.ir

اتوماسیون - ۹۰) در مدار شکل مقابل به ازای چه مقداری از I_0 (برحسب میلی‌آمپر) بهره $\frac{V_o}{V_i}$ برابر ۶۰ است؟

۱) ۰/۲۵
۲) ۰/۵
۳) ۰/۷۵
۴) ۱





$$\frac{V_o}{2} = 2^k \times \left[-g_{m_1} + g_{m_4}\right] \times \frac{V_i}{2} \rightarrow \frac{V_o}{V_i} = 2^k \left[g_{m_4} - g_{m_1}\right]$$

$$-60 = 2^k \left[g_{m_4} - g_{m_1}\right]$$

$$60 = 2^k \left[g_{m_1} - g_{m_4}\right]$$

$$I_{C_1} = I_{C_2} = 1mA \rightarrow r_{e_1} = 25\Omega$$

$$g_{m_1} - g_{m_4} = 30 \frac{mA}{V}$$

$$g_m = 40\frac{mA}{V}$$

$$40 - g_{m_4} = 30 \rightarrow g_{m_4} = 10 \quad (1)$$

$$r_{e_4} = \frac{1}{10}\,k\Omega = 100\Omega = \frac{V_T}{I_{C_{3,4}}} = \frac{25}{I_{C_{3,4}}} \quad (1)$$

$$I_{C_{3,4}} = 0.25\,mA$$

$$I = 2 \times I_{C_{3,4}} = 0.5\,mA$$

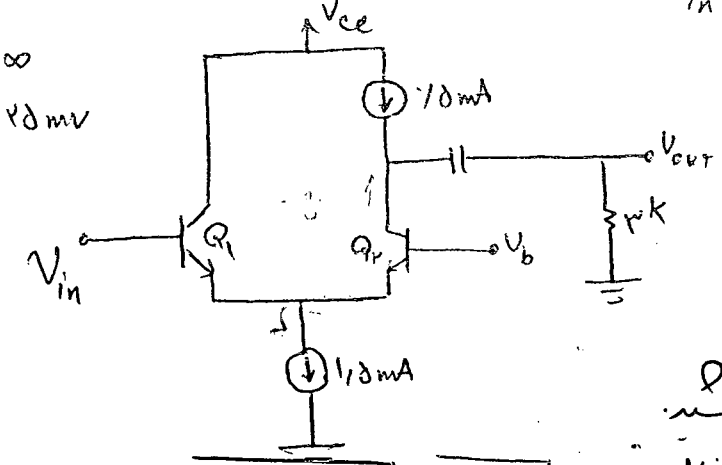
LearnElement.ir

در مدار تقویت کننده شکل زیر ترانزیستورهای Q_1 و Q_2 در ناحیه فعال بایاس شده‌اند و منابع جریان ایده‌آل هستند. مقدار بهره ولتاژ $A_V = \frac{V_{out}}{V_{in}}$ آن برابر است با:

$\beta = 100$

$V_A = \infty$

$V_T = 25mV$



۴۰ (۱

۵۰ (۲

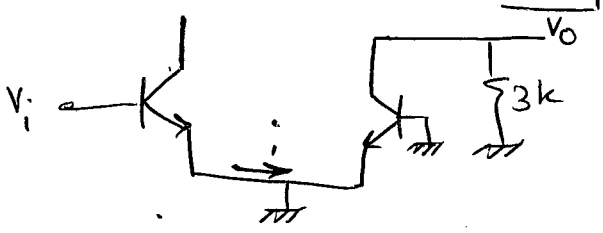
۲۵ (۳

۴۵ (۴

$I_{C_2} = 0.5mA \rightarrow re_2 = 50\Omega = \frac{1}{20}k$

$I_{C_1} = 1mA \rightarrow re_1 = 25\Omega = \frac{1}{40}k$

$re_1 \neq re_2$ چون

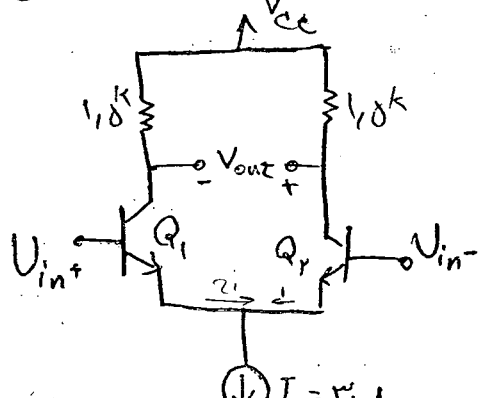


$i = \frac{V_{in}}{re_1 + re_2} = \frac{V_{in}}{\frac{1}{40} + \frac{20}{40}} = \frac{40}{3} V_{in}$

$V_o = 3^k \times i = 3 \times \frac{40}{3} V_i$

$\frac{V_o}{V_i} = 40$

تست ۸۸ در مدار شکل زیر ساخت پیوند بیس - امیتر ترانزیستور Q_1 دو برابر ترانزیستور Q_2 است و هر دو ترانزیستور در ناحیه فعال بایاس شده‌اند و منبع جریان I_b ایده‌آل است. بهره ولتاژ تقاضلی



آن تقریباً برابر است با: $A_d = \frac{V_{out}}{V_{in^+} - V_{in^-}}$ (V_{id})

$V_A = \infty$

$\beta = 100$

$V_T = 25mV$

$A_{E_1} = 2A_{E_2}$

$V_{BE_1} = V_{BE_2} \rightarrow I_{C_1} = 2I_{C_2}$

$I_{C_1} = 2mA \rightarrow re = \frac{1}{80}k = 12.5\Omega$

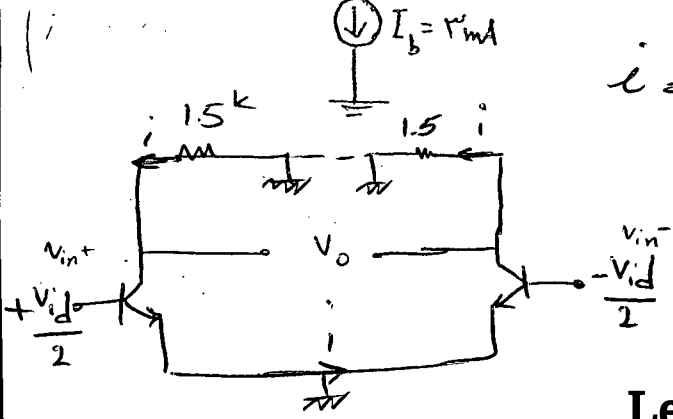
$I_{C_2} = 1mA = 25 = \frac{1}{80}k$

۱۰۰ (۱

۹۰ (۲

۸۰ (۳

V_o (۴



$i = \frac{V_{in^+} - V_{in^-}}{re_1 + re_2} = \frac{V_{id}}{\frac{1}{80} + \frac{2}{80}} = \frac{80}{3} V_{id}$

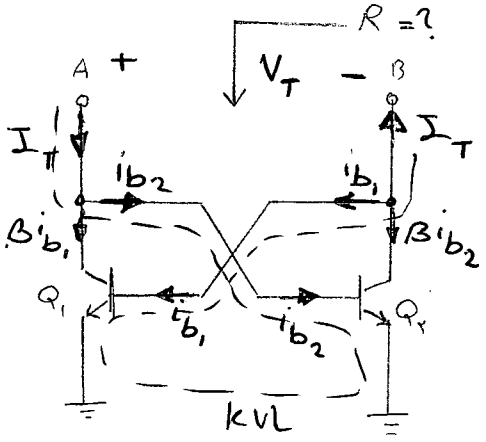
$V_o = 1.5i + 1.5i = 3i = 3 \times \frac{80}{3} V_{id}$

$V_o = 80 V_{id}$

LearnElement.ir

www.bargh-arshad.com

مطلوبست محاسبه مقاومت R_{AB} :



$$\text{kcl: } I_T = \beta i_{b_1} + i_{b_2}$$

$$+$$

$$\text{kcl: } I_T \times \beta = -i_{b_1}\beta - \beta^2 i_{b_2}$$

$$(\beta+1) I_T = (1-\beta^2) i_{b_2}$$

$$\xrightarrow{1-\beta} I_T = (1-\beta) i_{b_2} = -(\beta-1) i_{b_2} \rightarrow \begin{cases} i_{b_1} = -i_{b_2} \\ i_{b_2} = \dfrac{-I_T}{\beta-1} \\ i_{b_1} = \dfrac{I_T}{\beta-1} \end{cases}$$

$$\text{KVL}: V_T = i_{b_2} \times \beta r_{e_2} - (-i_{b_2})\, \beta r_{e_1}$$

(i_{b_1} ، h_{ie_1})

$$= \beta i_{b_2} (r_{e_2} + r_{e_1}) = \frac{-\beta I_T}{\beta-1} (r_{e_1} + r_{e_2})$$

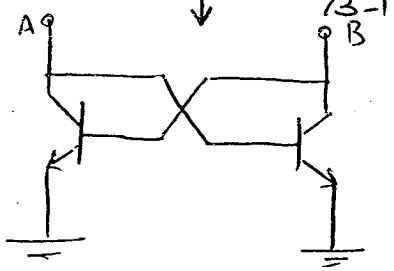
$$\rightarrow R_{AB} = -\left[\frac{\beta}{\beta-1}\right](r_{e_1}+r_{e_2}) \xrightarrow{r_{e_1}=r_{e_2}} R_{AB} = \left[\frac{\beta}{\beta-1}\right](-2r_{e_1})$$

$$\simeq -2r_{e_1}$$

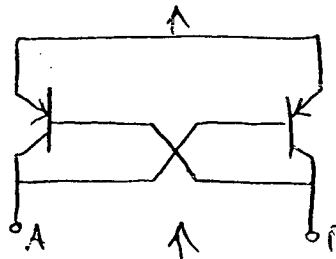
← مقاومت منفی داریم.

LearnElement.ir

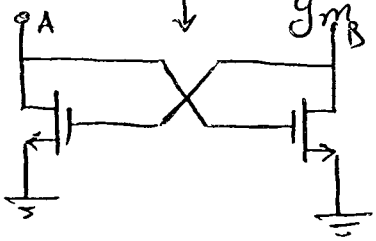
نکته: به مقاومت دیده شده از دو سر AB توجه کنید



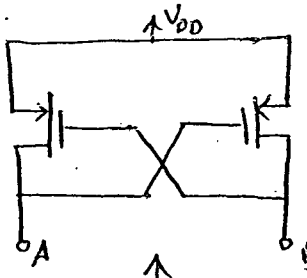
$R = \frac{\beta}{\beta+1}(2r_e) \simeq 2r_e$



$R = -2r_e$



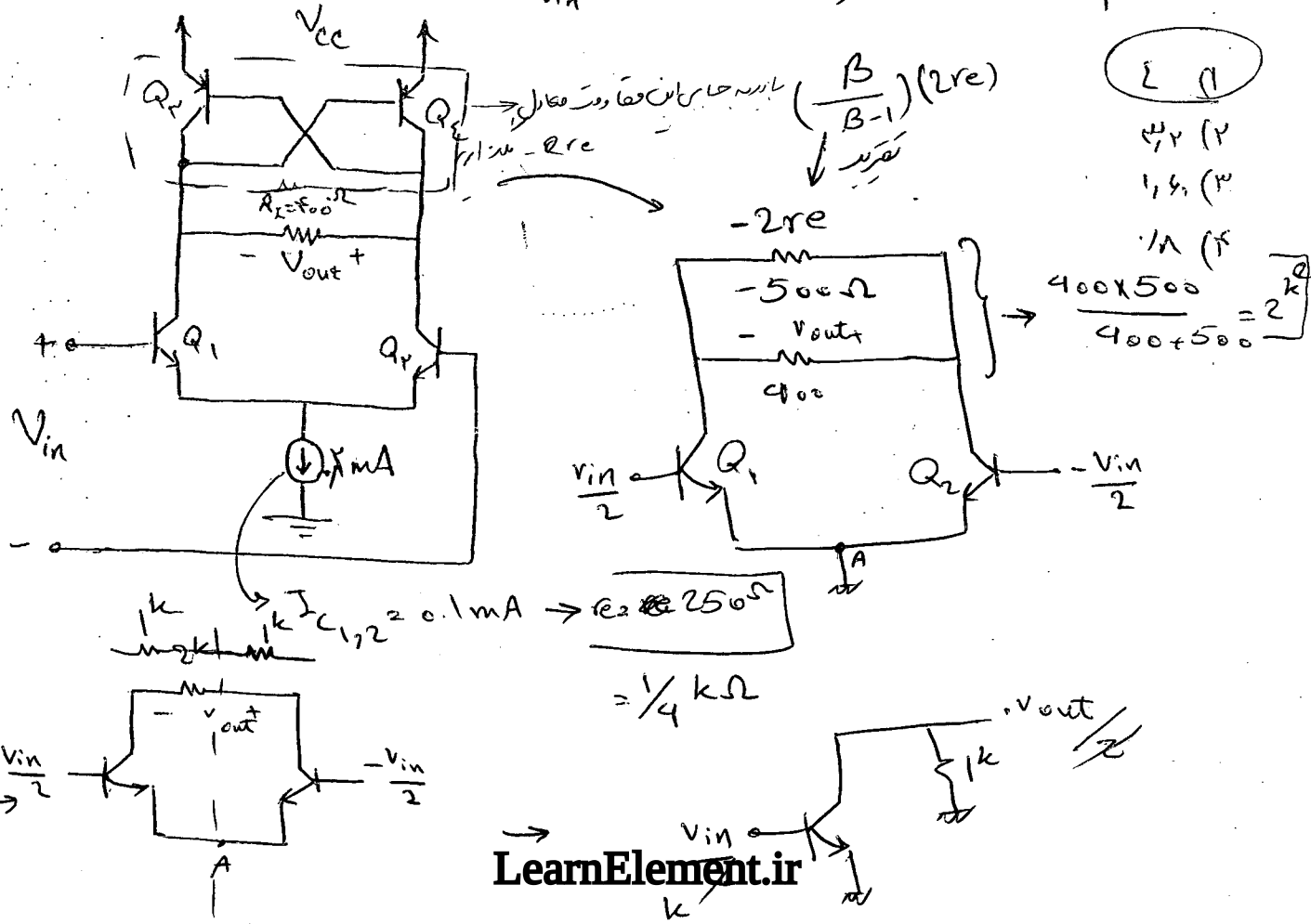
$R = \frac{-2}{g_m} = -\left(\frac{1}{g_{m_1}} + \frac{1}{g_{m_2}}\right)$



$R = \frac{-2}{g_m} = -\left(\frac{1}{g_{m_1}} + \frac{1}{g_{m_2}}\right)$

اتومانسیون ۸۶ در مدار شکل زیر ترانزیستورهای Q_1 تا Q_4 در ناحیه فعال بایاس شده‌اند و ترانزیستورهای متناظر باهم یکسان هستند. مقدار بهره ولتاژ تفاضلی $A_d = \frac{V_{out}}{V_{in}}$ آن تقریباً برابر است با:

۱) ۴
۲) ۳٫۲
۳) ۱٫۶
۴) ۰٫۸



LearnElement.ir

$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{1}{k} = 1$

تست ۸۸: در مدار شکل زیر همه ترانزیستورها در ناحیه فعال بایاس شده‌اند. بهره ولتاژ $A_d = \frac{V_{out}}{V_{in^+} - V_{in^-}}$ برابر است با:

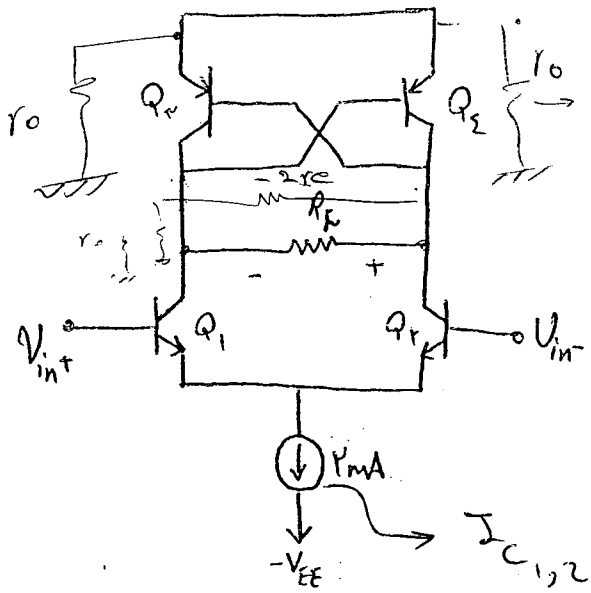
$(V_T = 25mV \ , \ |V_A| = 10^V \ , \ \beta = 100 \ , \ R_L = 50\Omega)$

۱) ۲۰۰ $\frac{V}{V}$

۲) ۳۰۰ $\frac{V}{V}$

۳) ۴۰۰ $\frac{V}{V}$

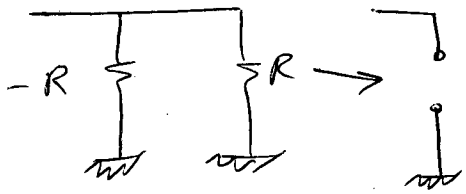
۴) ۱۰۰ $\frac{V}{V}$

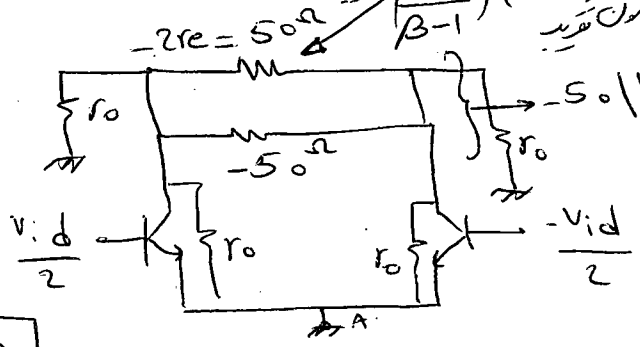


ترمینال Q_3 و Q_4 را به هم وصل می‌کنیم

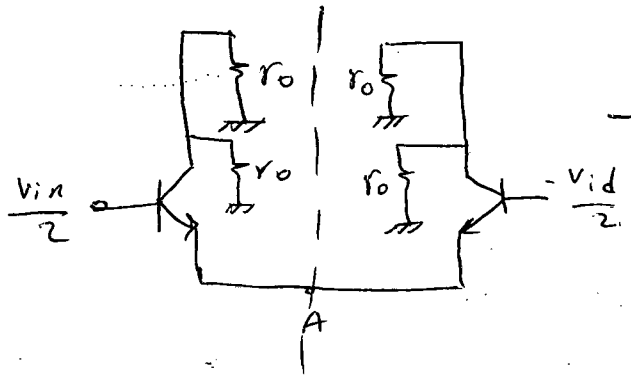
$$\frac{V_{out}}{V_{in^+} - V_{in^-}} = \frac{v_o}{v_{id}}$$

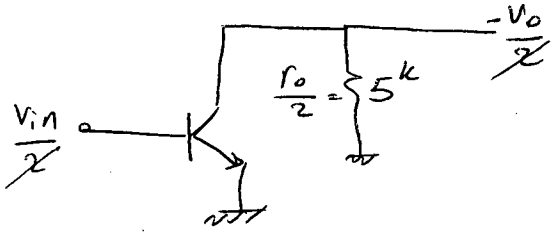
$I_{C_{1,2}} = 1mA \rightarrow re = 25\Omega = \frac{1}{40}k\Omega$





$$r_o = \frac{V_A}{I_C} = \frac{10V}{1mA} = 10k\Omega$$





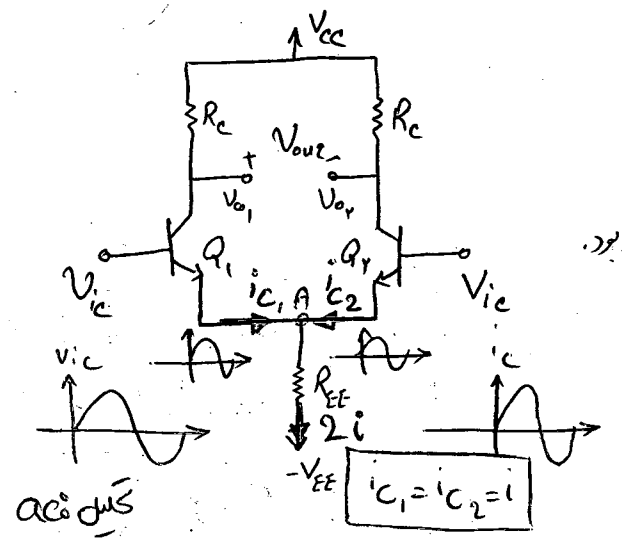
$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{5^k}{re} = 200$$

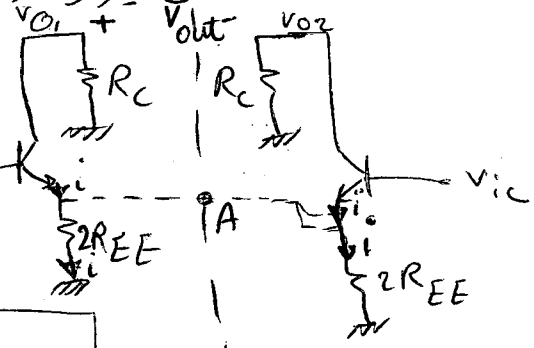
$re = \frac{1k}{40}$

LearnElement.ir

تحلیل ac تقویت کننده‌های تفاضلی در حالت مشترک « Common Mode »

در این حالت ورودی ac یکسان (V_{ic}) به هر دو ترانزیستور ورودی اعمال می‌شود. بطوریکه جریان امیترهایکسان دهم ناز هستند. بطوریکه جریان مقاومت R_{EE} دوبرابر جریان امیتر هریک از ترانزیستورهای ورودی خواهد بود.





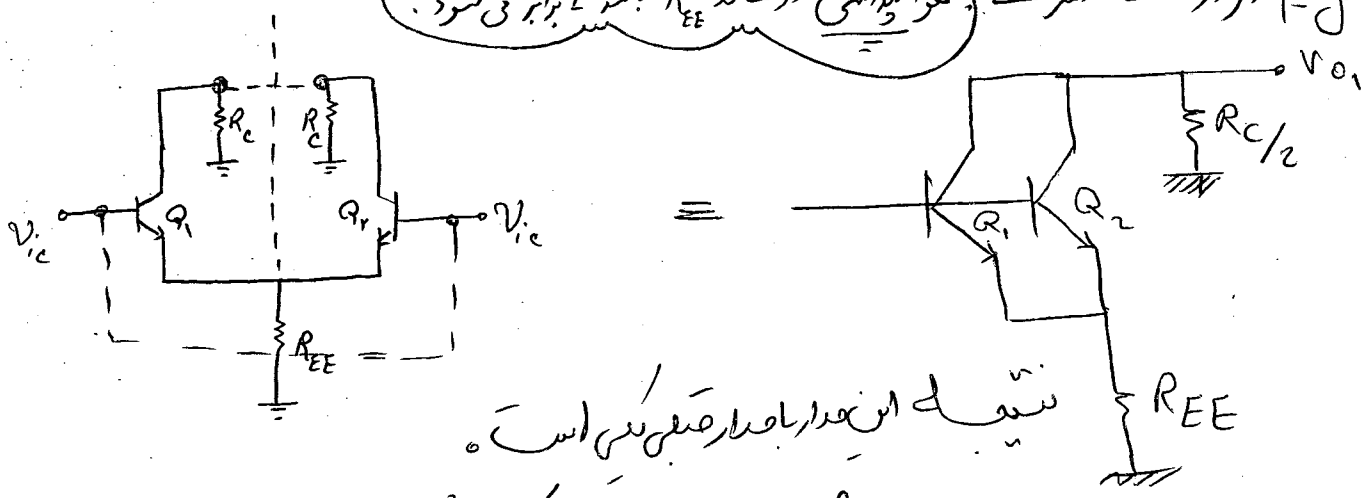
$$\rightarrow \begin{cases} V_{o_1} = -iR_c \\ V_{o_2} = -iR_c \end{cases} \rightarrow V_{out} = 0$$

$$i = \frac{V_{ic}}{2R_{EE} + r_e}$$

$$V_{o_2} = V_{o_1} = \left(-\frac{R_c}{2R_{EE} + r_e}\right) V_{ic} \rightarrow A_c$$

بهره حالت مشترک

مدل نیم مدار در حالت مشترک: هر امیدانسی در شاخه R_{EE} باشد ۲ برابر می‌شود.



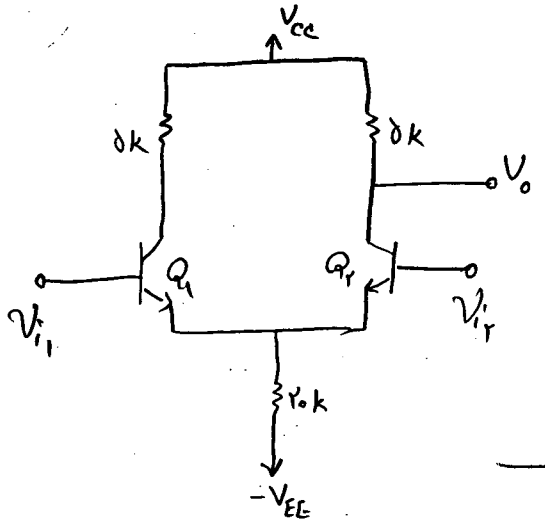
شبیه این مدار با مدار قبلی یکی است.

ولی این روش بیشتر دیده می‌شود فقط برای کسب آگاهی است. این روش تقاط هم با نیل را به هم وصل کرده است.

LearnElement.ir

۹) کاردانی به کارشناسی - ۸۲) در تقویت کننده تفاضلی دوبرد بهره‌ی مد مشترک (Common Mode) کدام است؟

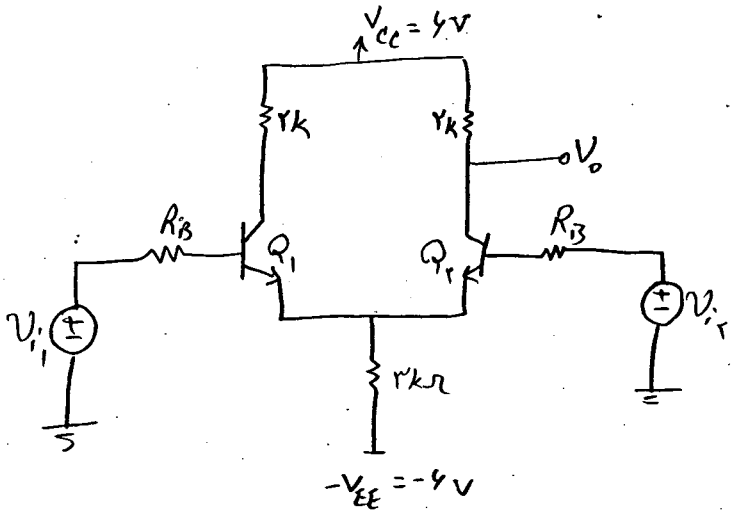
۱) ۱ ۲) ۰/۵ ۳) ۰/۲۵ ۴) ۰/۱۲۵



$R_{EE} = 20k$

$$\rightarrow \frac{V_o}{V_i} = \frac{-5}{2\times 20} = \frac{1}{8} = 0.125$$

۱۰) کاردانی به کارشناسی (آزاد ۸۳) در شکل داده‌شده اگر بهره‌ی تفاضلی مساوی ۵۴ باشد، بهره‌ی مد مشترک کدام است؟



۱) -0.66

۲) -0.33 $\quad -\frac{2^k}{2\times 3} = -\frac{1}{3} = -0.33$

۳) صفر

۴) -0.5

بهره تفاضلی را داده تا بتوان r_e را بدست آورد. دو حالت روش تقریب رفتیم.

$$-54 = A_d = \frac{R_C}{2\left[r_e + \frac{R_B}{\beta}\right]} \rightarrow r_e + \frac{R_B}{\beta} = \frac{1}{54}$$

($R_C = 2k$)

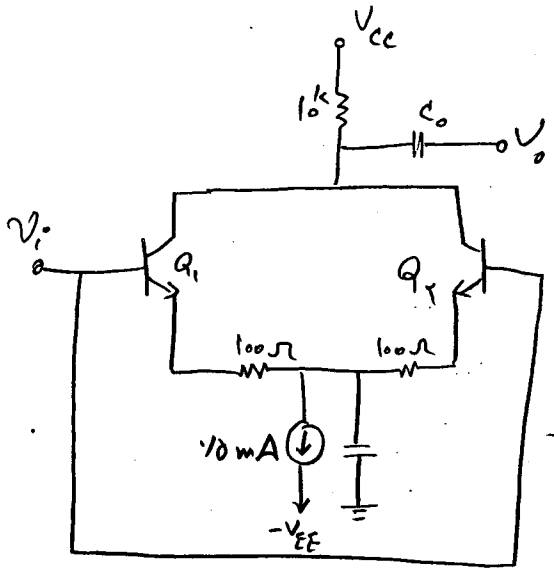
سمت راست از r_e صرف نظر کرده

LearnElement.ir

۵

کاردانی به کارشناسی - ۸۶) در تقویت‌کننده‌ی شکل زیر، بهره‌ی ولتاژ $\left|\frac{v_o}{v_i}\right|$ کدام است؟ $V_T = 25\,mV$

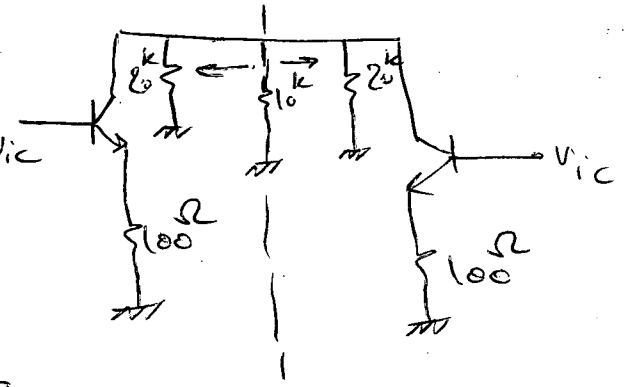
۱) ۵۰ ۲) ۱۰۰ ۳) ۲۰۰ ۴) ۴۰۰



$I_{EE} = 0.5 \rightarrow I_{C_1} = I_{C_2} = 0.25$

$\rightarrow re = \frac{25}{0.25} = 100\,\Omega$

مدار در ac



$\rightarrow \frac{V_o}{V_{ic}} = -\frac{20^k}{\underbrace{200\,\Omega + re}_{200\,\Omega = 0.2\,k}} = -100$

اتوماسیون - ۹۰) در مدار روبرو Q_1 و Q_2 مشابه هستند. مقاومت خروجی R_{out} بر حسب کیلواهم (kΩ) به کدام گزینه نزدیک‌تر است؟

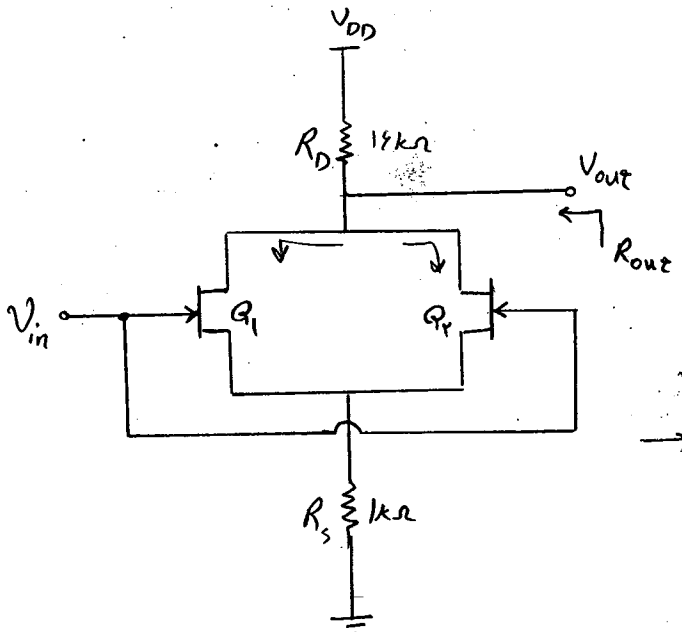
$\begin{cases} g_m = 1\ \frac{mA}{V} \\ r_d = 10\,k\Omega \end{cases}$

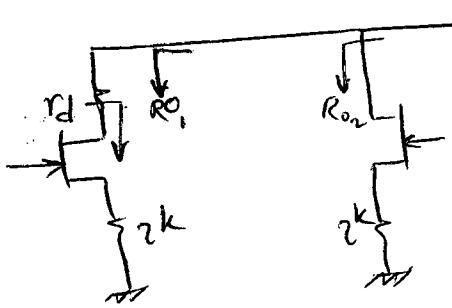
۱) ۲٫۳

۲) ۸

۳) ۱۰٫۵

۴) ۱۴





$R_o = 16^k \| R_{O_1} \| R_{O_2}$

$R_{O_1} = R_{O_2} = r_d + \underbrace{(1+\mu)R_S}_{g_m r_d} = 10^k + (1+1\times10)\times2 = 32k$

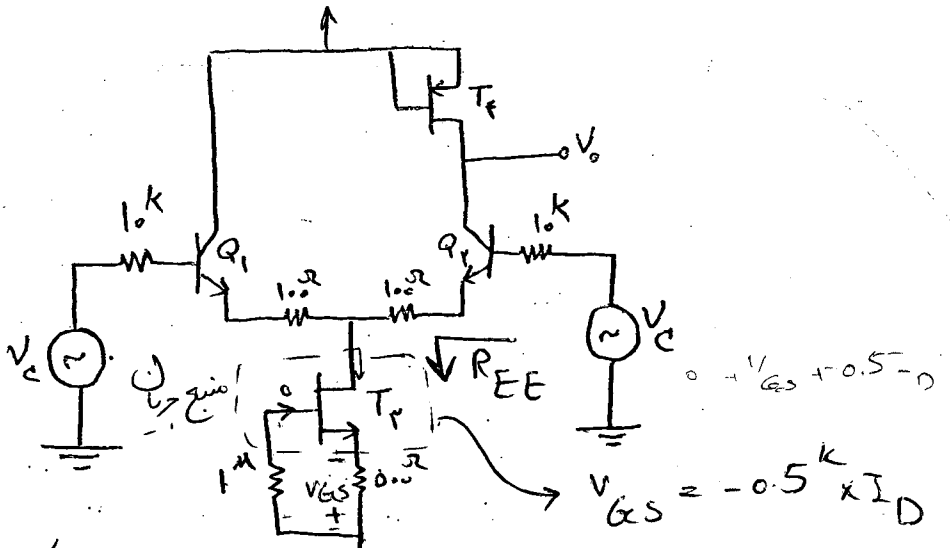
$R_o = 16 \| 16 = 8^k$

LearnElement.ir

سوال ۷۹ از نیز صحیح را برای بهره حالت مشترک $\frac{V_o}{V_c}$ تعیین کنید:

BJT: $r_o = \infty$, $V_T = 26mV$, $\beta = 100$

FET: $r_{d_1} = r_{d_2} = 20k\Omega$, $V_p = -2V$, $I_{DSS} = 8mA$



$V_{GS} = -0.5^k \times I_D$

$0 + V_{GS} + 0.5 - 0$

$\frac{V_o}{V_c} = 2$

$\frac{V_o}{V_c} = 0.9V$

$\frac{V_o}{V_c} = 0.8$

$\frac{V_o}{V_c} = 0.4$

① طبق قسمت ۱

$I_D = I_{DSS}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p}\right)^2 = 8\left[1 - \frac{0.5 I_D}{-2}\right]^2$

$\rightarrow I_D = 2mA \rightarrow I_{C_{1,2}} = 1mA$

$r_e = 25\Omega$

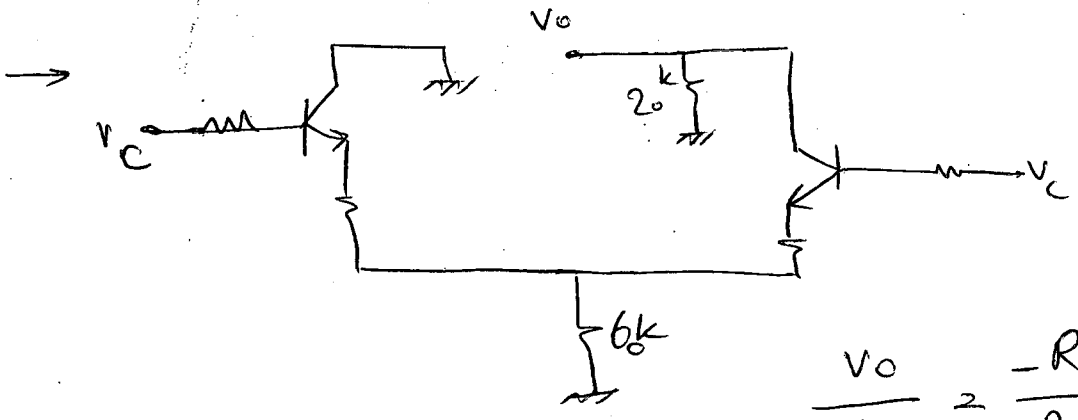
③

$\rightarrow R_{EE} = r_o + (1+\beta) R_S$

④

① $\rightarrow g_{m_3} = \frac{2}{|V_p|}\sqrt{I_D I_{DSS}} = \frac{2}{2}\sqrt{2 \times 8} = 4\frac{mA}{V} \rightarrow \beta = 9 \times 20 = 80$

② in ③ $\rightarrow R_{EE} = 20 + (1+80) \times 0.5^k = 60k$



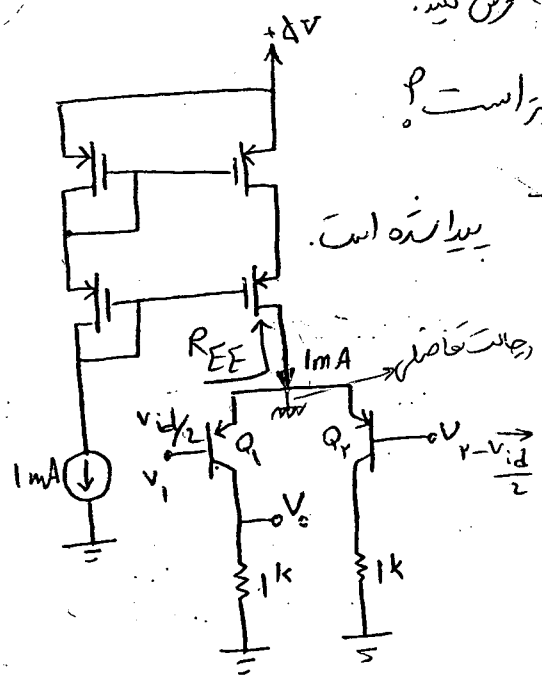
$\frac{V_o}{V_c} = \frac{-R_c}{2R_{EE}} = \frac{-20}{2 \times 60} = \frac{-1}{6} = -0.16$

البته این مدار اشکال دارد چون به ان تغذیه داده نشده در صورتیکه $r_o = \infty$ می‌شود. ولی ما به همین صورت مدار را حل کردیم.

LearnElement.ir

۸۷- در مدار شکل مقابل ترانزیستورهای MOS را با ولتاژ آستانه $|V_T| = 1.5V$ و $k = 4\frac{mA}{V^2}$ ترانزیستورهای دوقطبی را هم با ولتاژ $V_A \to \infty$ فرض کنید.

اگر $V_1 = 2V$ و $V_2 = 1.995V$ آنگاه V_o به کدام گزینه نزدیک‌تر است؟



ولتاژ V_o به خاطر: ۱- ولتاژ مشترک پیدا شده است.
۲- ولتاژ تفاضلی
۳- مقدار DC

$V_o = V_{o(dc)} + V_{o(d)} + V_{o(cc)}$

$V_{o(d)}$: ناشی از تفاضل ورودی‌هاست $\to A_d \cdot v_{id}$

$V_{o(cc)}$: ناشی از حد مشترک ورودی‌هاست $\to A_c \cdot v_{ic}$

۱) ۰/۴
۲) ۰/۴۵
۳) ۰/۵
۴) ۰/۵۵

$I_Q = 1mA \Rightarrow I_{C_{1,2}} = 0.5mA \to r_e = 50\Omega = \frac{1}{20}k\Omega$

$\to V_{o_{dc}} = 0.5mA \times 1^k = 0.5^V$

$V_A = \infty \to R_{EE} = \infty \to A_C = \frac{R_C}{2R_{EE} + r_e} = 0$

$v_{id} = v_1 - v_2 \to v_{id} = 2 - 1.995 = 0.005^V$

مدار تفاضلی: $-\frac{v_{id}}{2}$ — چون امیتر مشترک است / v_o — 1^k

$\to v_o = -\frac{1^k}{r_e} \times \frac{v_{id}}{2} = -\frac{1^k}{\frac{1}{20} \times 2} * v_{id}$

$= -10 \times (0.005)$

$A_d = -0.05V$

$\to V_o = 0.5^V + 0 - 0.05^V = 0.45^V$

LearnElement.ir

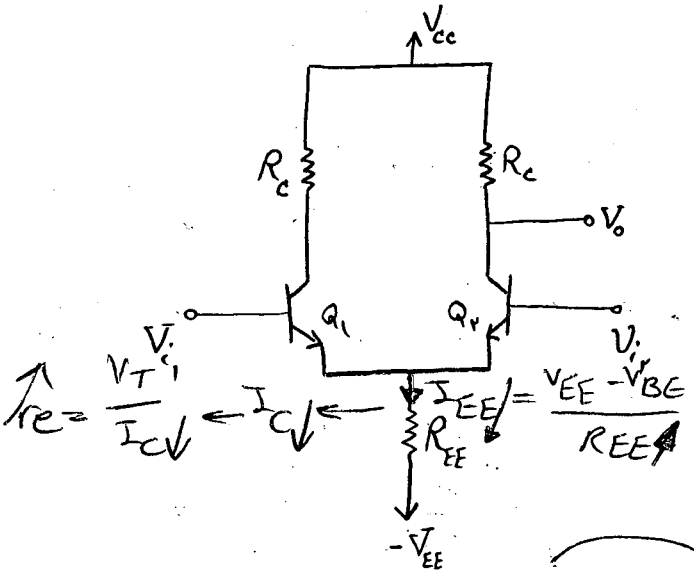
نسبت حذف حالت مشترک [C.M.R.R]

نسبت حذف حالت مشترک نشان دهندهٔ نسبت بهره تقویت تفاضل سیگنال ورودی به بهره تقویت سیگنال مشترک ورودی است.

$$CMRR \triangleq \left|\frac{A_d}{A_c}\right|$$

$$(CMRR)_{dB} = 20 \log \left|\frac{A_d}{A_c}\right|$$

در مدار نوشتی ورودی نسبت CMRR را محاسبه می‌کنیم:



$$CMRR = \left|\frac{A_d}{A_c}\right| \overset{\text{تقریبی}}{=} \frac{\frac{R_c}{2r_e}}{\frac{R_c}{2R_{EE}+r_e}}$$

$$\Rightarrow CMRR = \frac{2R_{EE}+r_e}{2r_e}$$

نکته: اثر برای افزایش CMRR با افزایش R_{EE} هم افزایش I_{EE} می‌شود. با افزایش R_{EE} باعث کاهش I_{EE} می‌شود و کاهش I_C را همراه خواهد داشت. این باعث می‌شود r_e افزایش یابد و CMRR تغییر نکند. پس CMRR فقط به V_{EE} بستگی دارد.

$$= \frac{R_{EE}}{r_e} + 0.5 \quad \text{BJT}$$

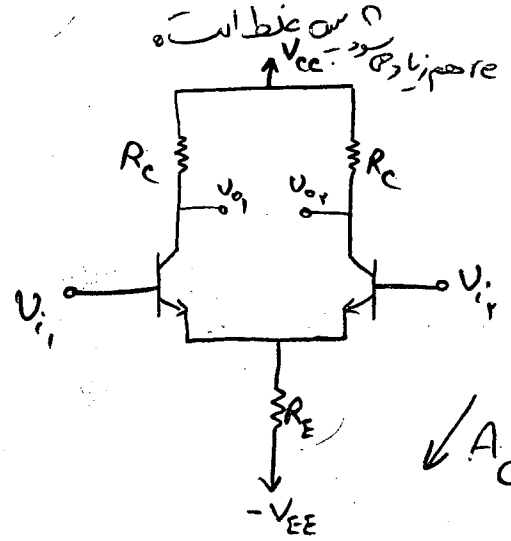
$$= g_m R_{SS} + 0.5 \quad \text{FET}$$

برای همین است که به جای R_{EE} منبع جریان می‌گذارند چون اثر R_{EE} را افزایش و هم جریانش ثابت می‌ماند برای همین از منبع جریان استفاده می‌کنند.

$$\text{in BJT} \longrightarrow = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{\frac{2I_C}{V_T/I_C}} + 0.5 = \frac{|V_{EE}| - |V_{BE}|}{2V_T} + 0.5$$

LearnElement.ir

سراسری - ۸۱) در تقویت کننده تفاضلی شکل روبرو افزایش مقدار مقاومت R_E سبب خواهد شد ....



۱) مقدار C.M.R.R. (نسبت حذف حالت مشترک) افزایش یابد. (r_e هم زیاد می‌شود)

۲) مقدار بهره ولتاژ در حالت مشترک افزایش یابد. (کم می‌شود)

۳) مقدار بهره ولتاژ در حالت تفاضلی افزایش یابد.

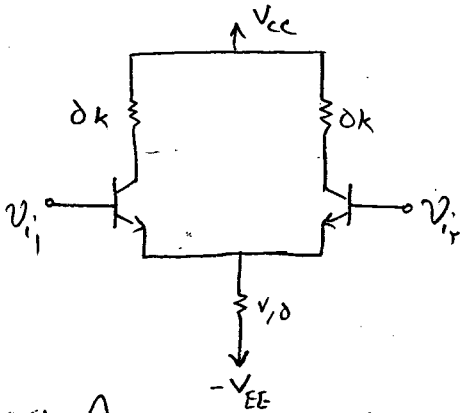
۴) مقدار بهره ولتاژ در حالت تفاضلی کاهش یابد.

$$A_c = \frac{R_C}{2R_{EE} + r_e} \qquad V_o = -R_C \times \frac{V_i}{r_C + 2R_{EE}}$$

$$R_{EE} \uparrow \rightarrow I_{EE} \downarrow \rightarrow I_C \downarrow \rightarrow r_e \uparrow \rightarrow A_d = \frac{R_C}{2r_e} \downarrow \qquad I'_C = \frac{0 - V_{BE} + V_{EE}}{2R'_E}$$

$$\frac{V_o}{V_i} = -g_m R_C \qquad \frac{1}{g_m} = r_e = \frac{V_T}{I_C}$$

کاردانی - کارشناسی - ۸۳) در تقویت کننده مقابل، ضریب CMRR کدام است؟ ($V_{BE} = 0.7V$ ، $g_m = 0.4 \frac{A}{V}$)



۱) ۲۵۰۰ ۲) ۱۲۵۰ ۳) ۶۰۰ ۴) ۳۰۰

$$CMRR = \left| \frac{A_d}{A_C} \right| = \left| \frac{\frac{R_C}{2r_e}}{\frac{R_C}{2R_{EE} + r_e}} \right|$$

$$g_m = 0.4 \frac{A}{V} = 40\,mA/V \rightarrow \frac{1}{40} = 1000\,\Omega$$

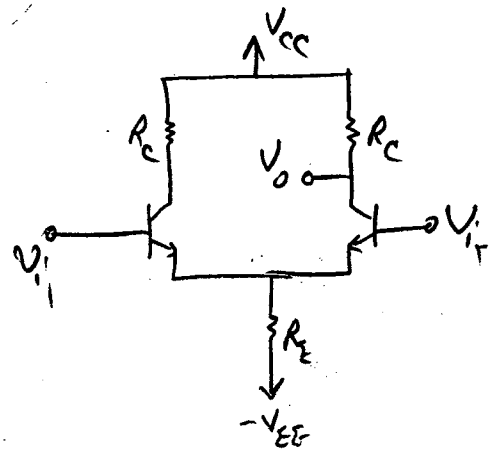
$$R_{EE} = 7.5\,k\Omega$$

$$CMRR = g_m R_{EE} + 0.5 = 40 \times 7.5 = 300$$

LearnElement.ir

www.barghe-arshad.com

۲/ کاردانی به کارشناسی - آزاد ۸۵) در شکل داده شده با فرض $g_m = 9,9\,ms$ ، CMRR = ۴۳ مقدار تقریبی R_E چند کیلو اهم است؟



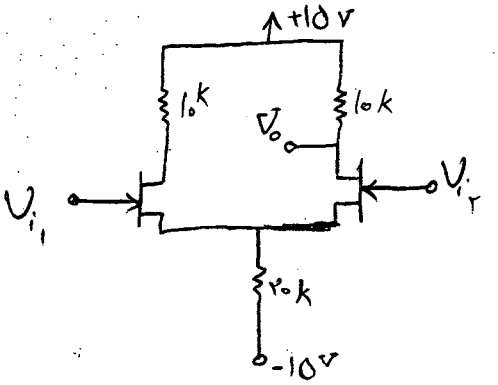
۱) ۸,۹ ۲) ۲,۳ ۳) ۴,۳ ۴) ۱,۱

$$CMRR = g_m \times R_E + 0.5$$

$$43 = 9.9 \times R_E + 0.5$$

$$\boxed{R_E = 4.3}$$

کاردانی به کارشناسی - آزاد ۸۵) در تقویت کننده شکل زیر اگر $g_m = 0.9\,ms$ ، $r_d = \infty$ باشد، مقدار CMRR کدام است؟



۱) ۳۶,۵

۲) $\frac{1}{۳۶}$

۳) ۱۸,۵

۴) ۱۰,۵

$$CMRR = g_m R_{SS} + 0.5$$

$$= 0.9\,ms \times 20^{k} + 0.5$$

LearnElement.ir

۱۷

برق-۹۰) در مدار زیر C.M.R.R. تقریباً چقدر است؟

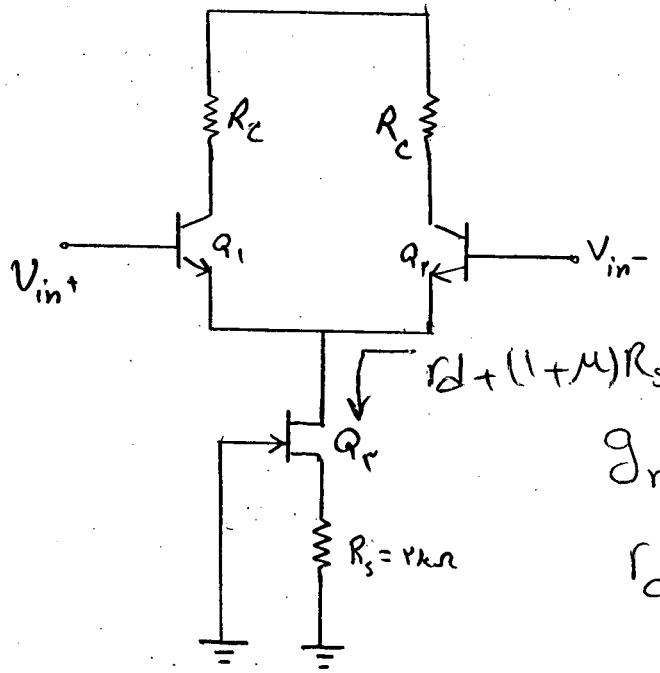
$Q_{1,2}$ { $\beta = 100$ ، $r_\pi = 2.5\ k\Omega$ } Q_3 { $g_m = 10\ \frac{mA}{V}$ ، $r_d = 10\ k\Omega$ }

۱) ۱۶۰۰۰

۲) ۱۴۰۰۰

۳) ۸۰۰۰

۴) ۴۰۰۰



$r_d + (1+\mu)R_S = 10 + 100 \times 2^k = 210 = R_E$

$g_m = 10$ ، $r_d = 10$ $\rightarrow$ $\mu = 100$

$r_\pi = 2.5^k \rightarrow r_e = \frac{r_\pi}{\beta} = \frac{2.5^k}{100} = 25^\Omega = \frac{1}{40}\ k$

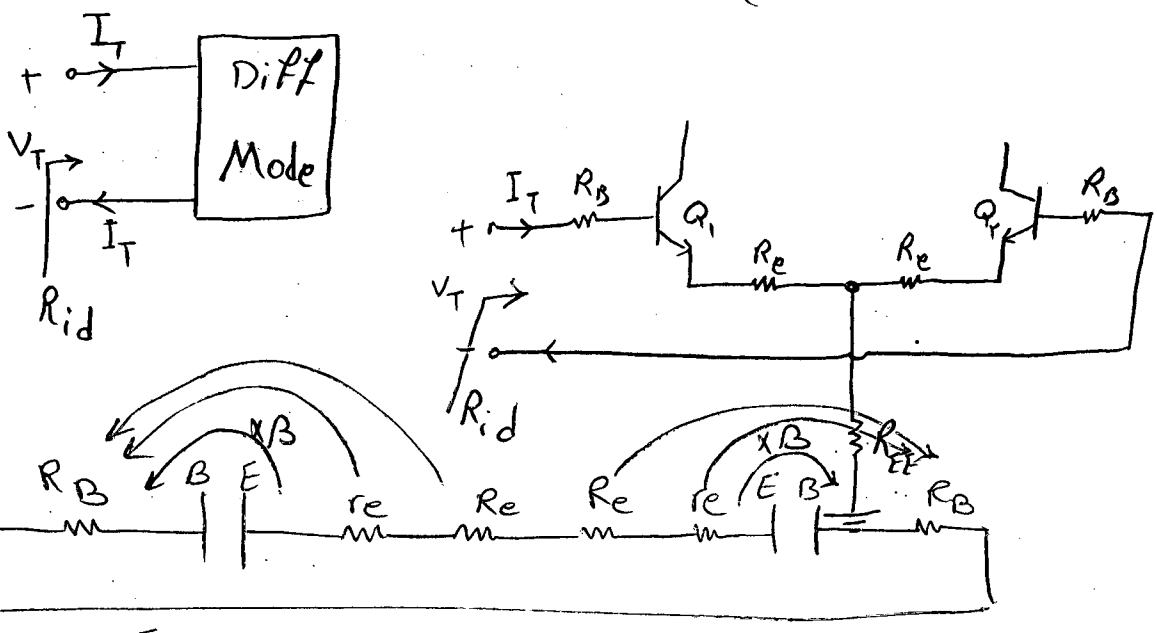
$\rightarrow CMRR = \frac{R_{EE}}{r_e} + 0.5$

$= \frac{210}{1/40^k} + 0.5 \approx 8000$

LearnElement.ir

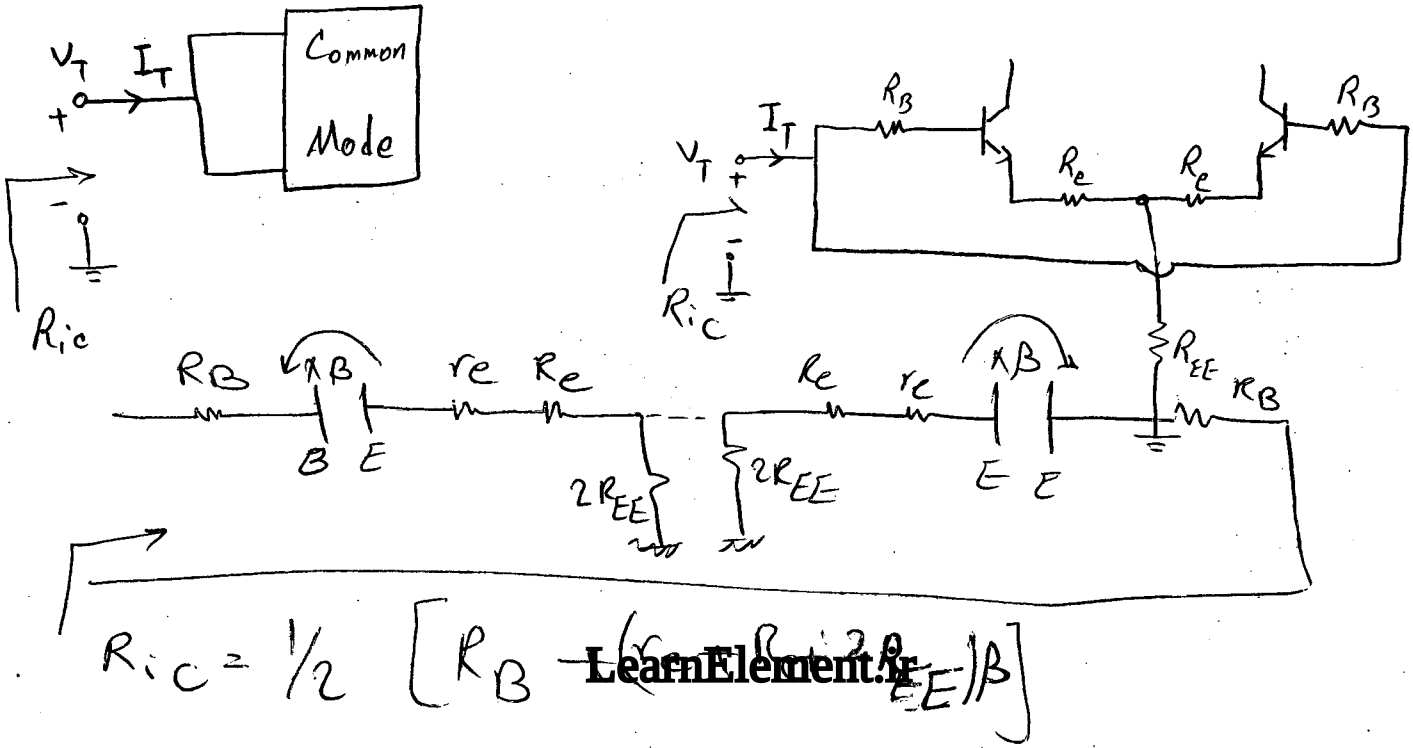
محاسبهٔ مقاومت ورودی تقویت کننده‌های تفاضلی :

الف) درحالت تفاضلی (Diff. Mode)



$$R_{id} = 2\left[R_B + (r_e + R_e)\times\beta\right]$$

ب) درحالت مشترک (Common Mode)

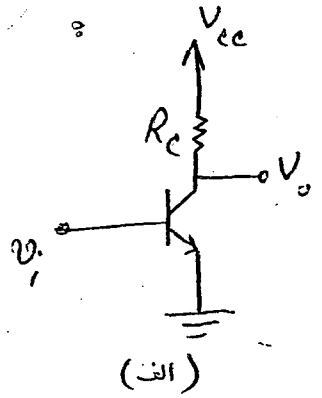


$$R_{ic} = \frac{1}{2}\left[R_B + (r_e + R_e + 2R_{EE})\beta\right]$$

LearnElement.ir

استفاده از بار فعال در تقویت کننده های الکترونیکی:

$V_o(dc) = V_{CC} - R_C I_{CQ}$ ①

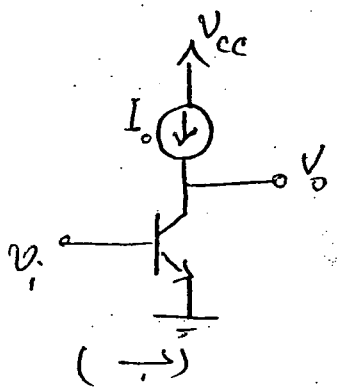


(الف)

در مدار شکل روبرو اگر بخواهیم گین تقویت کننده را افزایش دهیم به نظر می رسد که با افزایش R_c بتوان طبق فرمول $\frac{v_o}{v_i} = \frac{-R_c}{r_e}$ ① آنرا افزایش داد اما افزایش R_c باعث کاهش ولتاژ DC کلکتور شده که این موضوع باعث کاهش سوئینگ خروجی در پیک منفی خواهد شد. یعنی ممکن است افزایش R_c باعث اشباع شدن Tr شود.

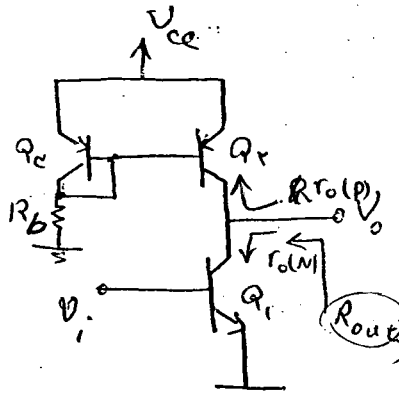
$R_c \uparrow \Rightarrow V_o(dc) \downarrow \Rightarrow \hat{v}_o \downarrow$

بنابراین جای R_c باید از عنصری استفاده کرد که در حالت ac مقاومت بالایی داشته باشد اما ولتاژ DC کلکتور را تغییر ندهد. بدین منظور می توان از یک منبع جریان مطابق شکل ب استفاده نمود



(ب)

نمونه عملی این موضوع در شکل ج استفاده شده است. به جای R_b می توان I_b گذاشت. تحلیل ac



$I_{C_1} = I_{C_2} = I_C \Rightarrow \begin{cases} r_{o_1} = \frac{V_{A(N)}}{I_C} \\ r_{o_2} = \frac{V_{A(P)}}{I_C} \end{cases}$

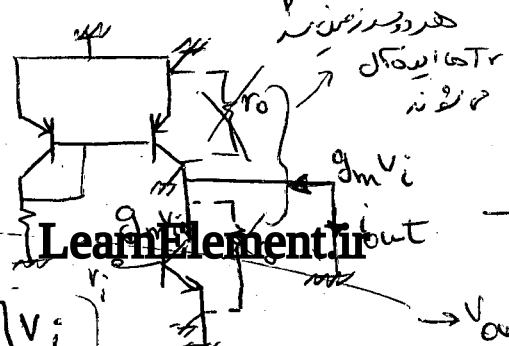
$$\frac{V_o}{V_i} = -\frac{r_{o_1}^{(N)} \| r_{o_2}^{(P)}}{r_e} = -\frac{\frac{V_{A(N)}}{I_C} \| \frac{V_{A(P)}}{I_C}}{\frac{V_T}{I_C}} = -\frac{\frac{1}{I_C}\left[V_A^{(N)} \| V_{A(P)}\right]}{\frac{V_T}{I_C}} = -\frac{V_{A(N)} \| V_A^{(P)}}{V_T}$$

$$\rightarrow \boxed{\frac{V_o}{V_i} = -\frac{V_{A(N)} \| V_{A(P)}}{V_T}}$$

تحلیل ac ؛ ~~DC~~

تحت تاثیر I_b داریم R_b اگر داشتیم باید در فرمول لحاظ نمی شد

$R_{out} = r_o(P) \| r_o(N)$



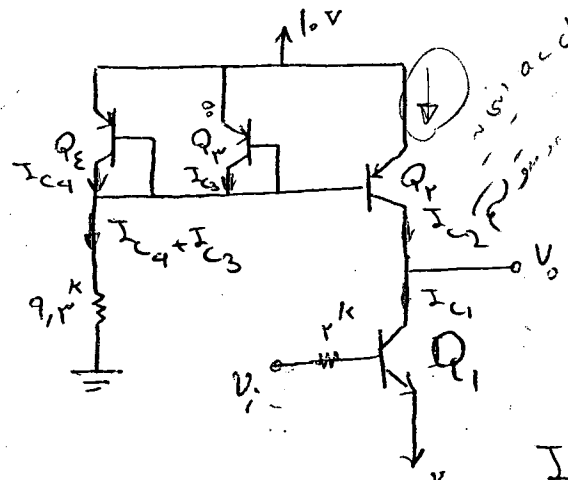
$\rightarrow i_{out} = -g_m v_i$

$\rightarrow v_{out} = R_{out} \cdot i_{out}$

$\rightarrow \boxed{v_o = -g_m \left[r_o(N) \| r_o(P)\right] v_i}$

LearnElement.ir

در مدار زیر مطلوبست محاسبه: $\frac{V_o}{V_i}$



$V_A = 100\ V$

$\beta = 200$

$V_{BE} = 0.7\ V$

$I_{C_1} = I_{C_2} = I_{C_3} = I_{C_4} = 0.5$ ①

$I_{9.3^K} = \frac{10 - 0.7}{9.3^K} = 1\ mA$

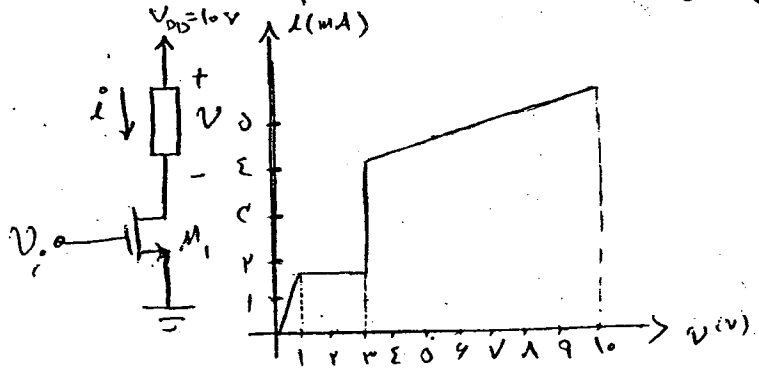
$I_{9.3} = I_{C_3} = I_{C_4} \rightarrow \frac{I_{9.3}}{2} = 0.5 = I_{C_3} = I_{C_4}$ ①

$$\frac{V_o}{V_i} = -\frac{r_{o_1} \| r_{o_2}}{r_e + \frac{2^K}{\beta}} = -\frac{100^K}{50^\Omega + \frac{2000}{200}} \rightarrow -1666$$

① $\rightarrow r_e = \frac{25}{0.5} = 50\Omega$

$\rightarrow r_o = \frac{V_A}{I_C} = \frac{100}{0.5} = 200k$

برق ۷۸- در صورتیکه بار ترانزیستور M در شکل مقابل دارای مقاومتی مشخصه داده شده باشد، مدار برازای چه قسمتی از ولتاژ V_{ds} بیشترین بهره ولتاژ را خواهیم داشت؟



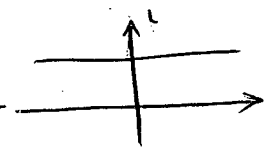
۱) $0 < V_{ds} < 7$

۲) $V_{ds} = V$

۳) $9 < V_{ds} < 10$

۴) $7 < V_{ds} < 9$

یعنی زمانی بیشترین بهره را داریم که به جای مقاومت R_c منبع جریان داشته باشیم. که آستانه تغییر مشخصه V_o به صورت زیر است:



$1 - 10 < V_{ds} < 3 - 10 \leftarrow -10 \quad 1 < V < 3$ یعنی

$7 < V_{ds} < 9$

مدار وقتی بیشترین بهره را دارد که بار مانند منبع جریان باشد یعنی $1 < V < 3$

$10 - 1 < V_1 < 10 - 3 \rightarrow 7 < V_{ds} < 9$

LearnElement.ir

۲۵/

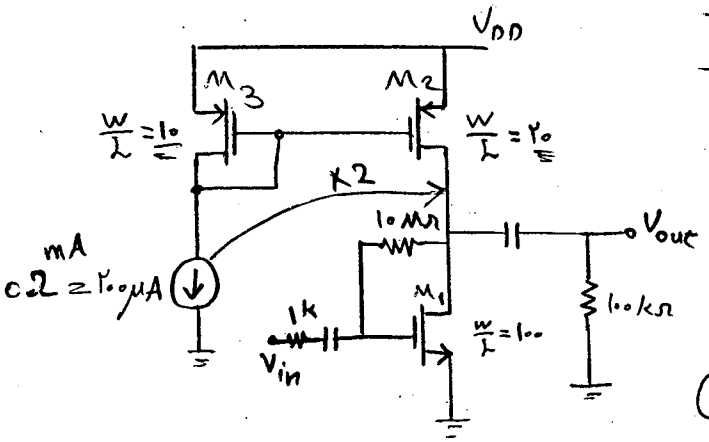
$\mu_n C_{ox} = 200 \frac{\mu A}{V^2}$, $\mu_p C_{ox} = 50 \frac{\mu A}{V^2} = 0.05 \frac{mA}{V^2}$ (برق ۹۰-۹۱) در مدار شکل مقابل داریم:

$V_{tp} = -0.7V$, $V_{tn} = 0.7V$

$\lambda_n = \lambda_p = 0$, $i_D = \frac{1}{2}\mu C_{ox} \frac{W}{L}(V_{GS} - V_t)^2$

$\hookrightarrow V_A = \frac{1}{\lambda} = \infty \rightarrow r_o = \infty$

بهره ولتاژ مدار $\left(\frac{V_{out}}{V_{in}}\right)$ به کدام مقدار نزدیکتر است؟



$\frac{I_{D_2}}{I_{D_3}} = \frac{(\frac{W}{L})_2}{(\frac{W}{L})_1} = \frac{20}{10} = 2$

$\rightarrow I_{D_2} = 2 \times 0.2 = 0.4$

$I_{D_1} = I_{D_2} = 0.4mA$

① $g_{m_1} = 2\sqrt{k_1 I_D}$

$k_1 = \frac{1}{2}\mu C_{ox}(\frac{W}{L})_1 = \frac{1}{2} \times 0.2 \times 100 = 10 \frac{mA}{V^2}$ ②

①,② $\rightarrow g_{m_1} = 2\sqrt{10 \times 0.4} = 4 \frac{mA}{V^2}$

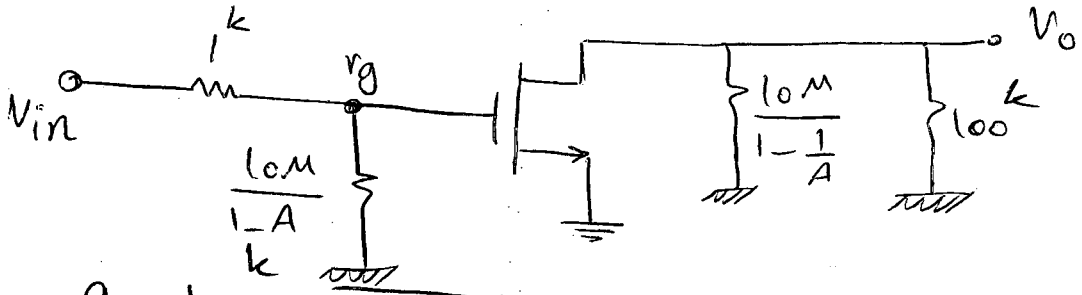
۱- -۴۰۰

۲- -۲۰۰

۳- -۲۸۰

۴- -۱۴۰

مدار در حالت



$A = \frac{V_o}{V_g} = -g_m \times 100 = -400$

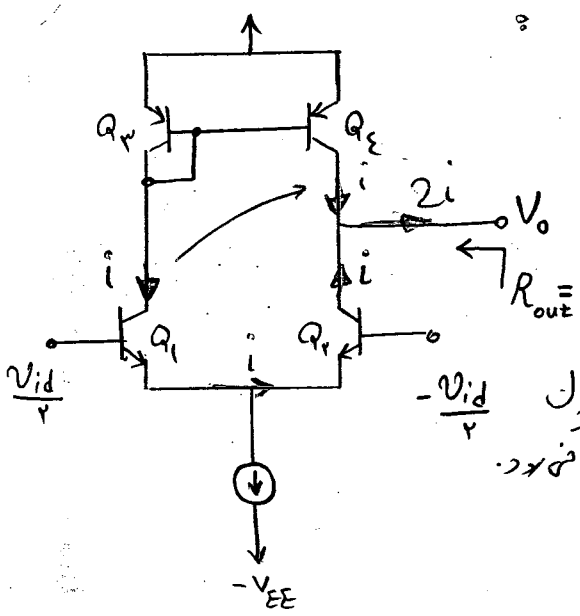
$\frac{10M}{1-A} = 25k \rightarrow \frac{V_g}{V_{in}} \simeq 1$

$\rightarrow \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{V_o}{V_g} \times \frac{V_g}{V_{in}} = -400$

LearnElement.ir

www.bargh-arshad.com

استفاده از بار فعال در تقویت کننده های تفاضلی :



در تقویت کنندهٔ دوبرد Q_3 و Q_4 نقش منبع جریان دیا رفعال را ایفاء می کنند. خروجی تقویت کننده را از کلکتور Q_4 می گیرند که دارای امپدانس بالاتری نسبت به کلکتور Q_3 دارد.

$$i = \frac{v_{id}}{re_1+re_2} = \frac{v_{id}}{2re} \leftarrow \text{جریان dc جریان بایست } -V_{EE} \text{ نمی بود.}$$

$$i_{out} = 2i$$

$$R_{out} = r_{o2} \| R_{o4}$$

$$\longrightarrow V_{out} = 2i \times (r_{o4} \| r_{o2}) \Longrightarrow \frac{V_o}{V_{id}} = g_m [r_{o4} \| r_{o2}] = \frac{r_{o4} \| r_{o2}}{re}$$

$$\longrightarrow i = \frac{V_{id}}{2re} = g_m \frac{\frac{V_{id}}{2}}{2}$$

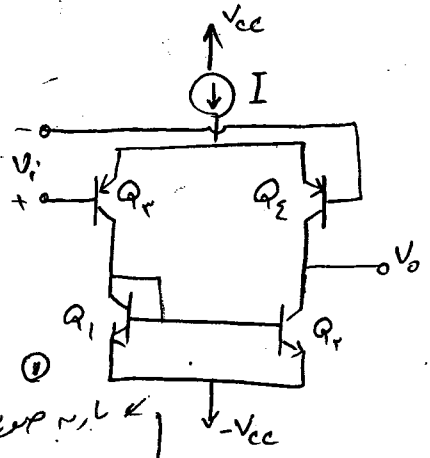
نکته: در تقویت کننده تفاضلی که بار آن آینه جریان است بهره ولتاژ مدار برابر است با $\frac{V_A(P) \| V_A(N)}{V_T}$

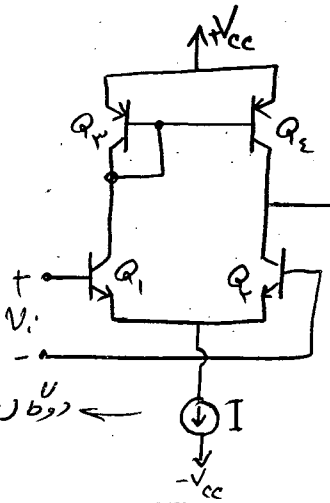
در حواب آخر استفاده شود آنرسم مدار برسم به جای $i_o = 2i$ مقدار i را i_o بدست می آوریم.

$\frac{V_o}{V_i}$ چه رابطه‌ای با هم دارند؟ در شکل (۱) $\frac{V_o}{V_i} = A_{V_1}$ و در شکل (۲) $\frac{V_o}{V_i} = A_{V_2}$

npn $\begin{cases} \beta_n = 200 \\ |V_A| = 100\,V \end{cases}$

pnp $\begin{cases} \beta_p = 100 \\ |V_A| = 50\,V \end{cases}$





$R_{out} = r_{o2} \| r_{o4}$

$i = \frac{v_{id}}{re_1+re_3}$

pnp جنوبی npn بار به صورت ←

$A_{V_1} = 4A_{V_2}$ (۴ $\quad A_{V_1} = 2A_{V_2}$ (۳ $\quad \boxed{A_{V_1} = A_{V_2}}$ (۲ $\quad A_{V_1} = \frac{1}{2}A_{V_2}$ (۱

چون

$re_3 = re_1 \longrightarrow I_{C_1} = I_{C_3}$

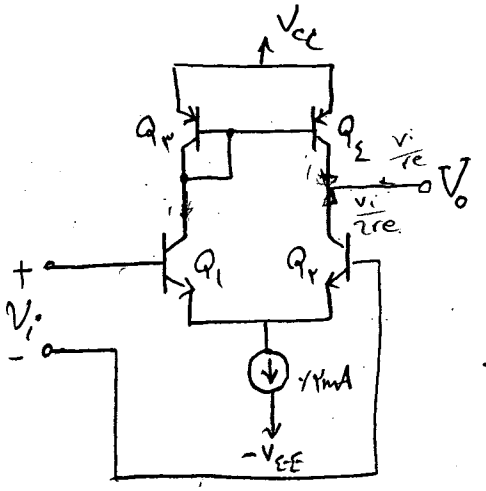
$re_4 = re_2 \longrightarrow I_{C_2} = I_{C_4}$

$i = \frac{v_{id}}{re_1+re_3} = \frac{v_{id}}{2re}$

LearnElement.ir

۷ کاردانی به کارشناسی - ۸۸) در تقویت کننده‌ی شکل مقابل بهره‌ی تفاضلی ولتاژ برحسب dB کدام است؟

(ولتاژ ارلی ترانزیستورهای NPN مساوی ۱۲۰ ولت و ولتاژ ارلی ترانزیستورهای PNP برابر ۸۰ ولت و $V_T = 25mV$ فرض شود.)



۱) ۳۲,۵ ۲) ۶۵ ۳) ۱۲۰ ۴) ۱۹۲۰

$$\frac{V_o}{V_{id}} = \frac{V_{A(P)} || V_{A(N)}}{V_T} = \frac{48^V}{\frac{1}{40}V} = 1920 \sim 2000$$

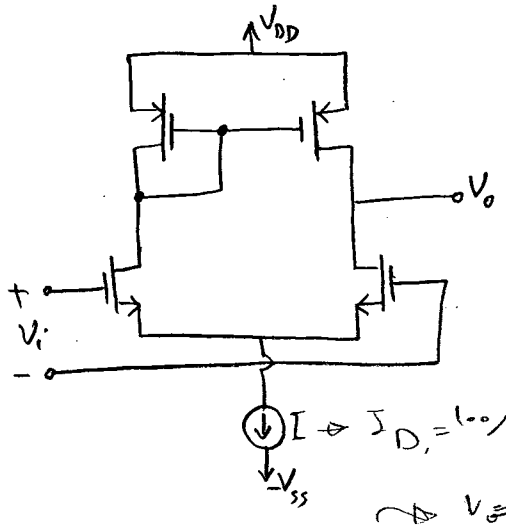
$$\left(\frac{V_o}{V_{id}}\right)_{dB} = 20 \log 1920 = 65$$

تقریب

2000
2×10^3

$$V_o = \frac{v_i}{\quad} \times \frac{80 || 120}{r_e}$$

کاردانی به کارشناسی - ۸۶ آزاد) در تقویت کننده‌ی شکل زیر، با فرض $k = 100 \frac{\mu A}{V^2}$ ، $V_T = 1V$ ، $r_{ds} = 200k\Omega$ ، $I = 200\mu A$ ، بهره‌ی ولتاژ $\frac{V_o}{V_i}$ کدام است؟



۱) ۱۰ ۲) ۲۰ ۳) ۳۰ ۴) ۴۰

$$g_{m1} = 2\sqrt{100 \times 100} = 200\frac{\mu A}{V} = 0.2\frac{mA}{V}$$

$$\Rightarrow V_o = -g_m v_i \times r_{o1} || r_{o2} = -0.2 \times [20 || 20]$$

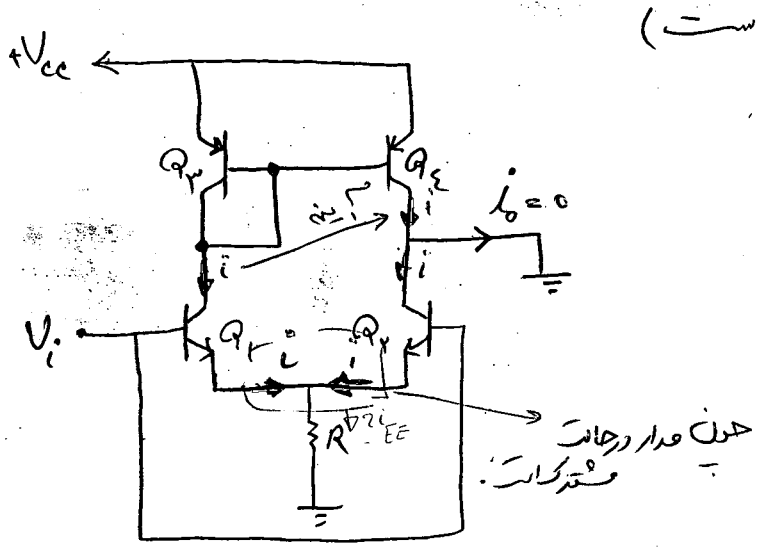
$$= -0.2 \times 10 = -2$$

LearnElement.ir

www.barqh-arshad.com

۱۲۳

کاردانی به کارشناسی - ۸۷) در تقویت کننده‌ی شکل مقابل، هدایت انتقالی $\frac{i_o}{v_i}$ کدام است؟ (β_p بهره جریان ترانزیستورهای Q_3 و Q_4 است)



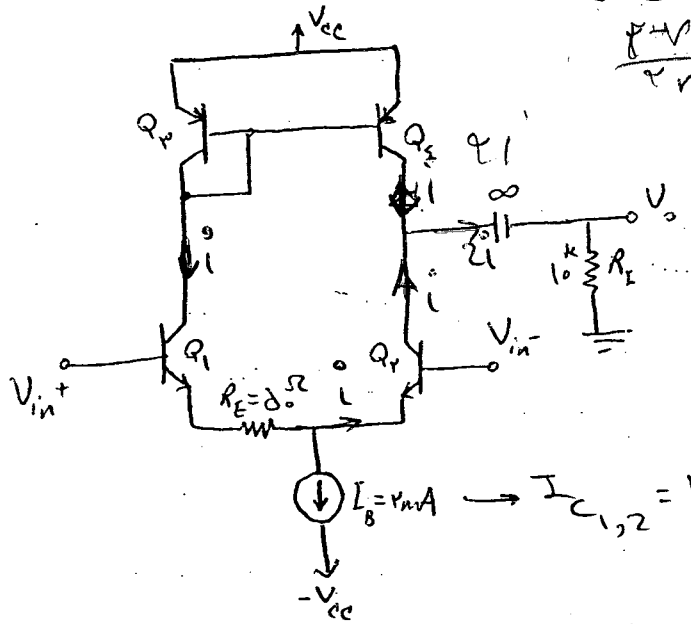
۱) $\frac{v_i}{R\beta_p}$

۲) $\frac{v_i}{R}$

۳) $\frac{v_i\beta_p}{R}$

۴) صفر

برق - ۸۵) در مدار شکل روبرو از مقاومت R_E برای انطباق دو ترانزیستور Q_1 و Q_2 استفاده شده است. کدام تقویت کننده به کدام یک از گزینه‌های زیر نزدیک است؟



۱) ۱۰۰

۲) ۴۰۰

۳) ۲۶۶

۴) ۲۰۰

$$I_{B}=2mA \rightarrow I_{C_{1,2}}=1mA \rightarrow re_{1,2}=25\Omega=\frac{1}{40}k$$

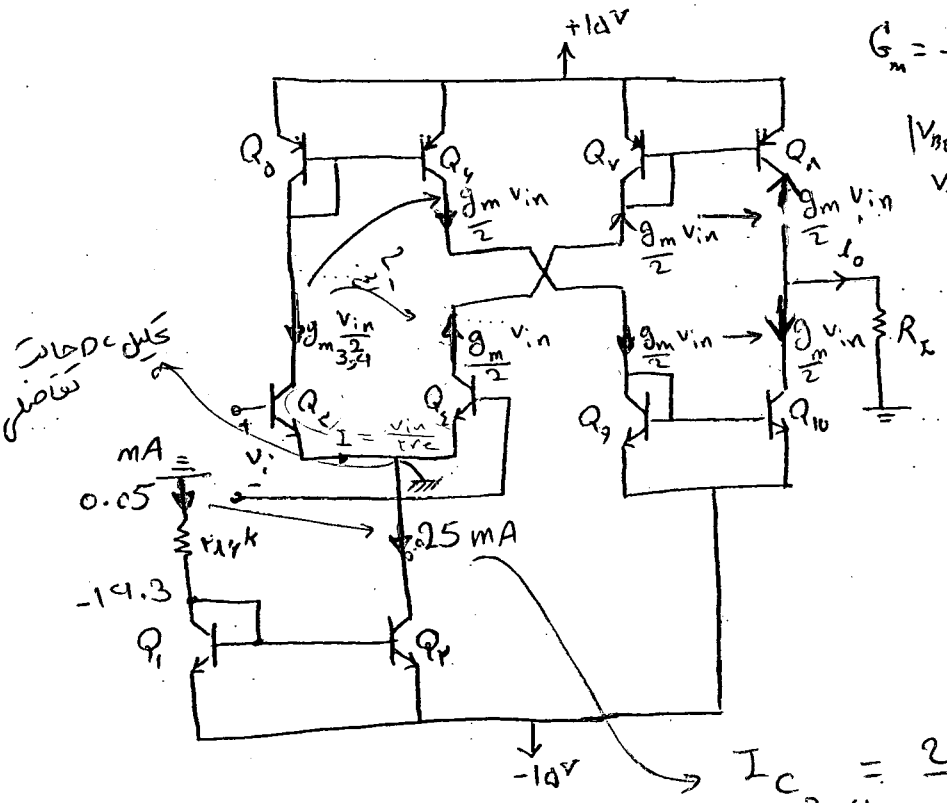
$$v_o = 10 \times 2i = 20i = 20 \times 10 v_{id} = 200 v_{id}$$

$$i = \frac{v_{in}^{+} - v_{in}^{-}}{\underbrace{2re + 50}_{100\Omega}} = 10\, v_{id}\ mA$$

$$\frac{100\Omega}{0.1k}$$

LearnElement.ir

۲۴/ برق ۷۴) بهرهٔ انتقالی G_m در مدار زیر به ازای $R_L=0$ کدام است. سطح مقطع امیتر Q_1 دو برابر سطح مقطع Q_2 است.



$G_m=\frac{i_o}{v_i}$

$|V_{BE}|=۷۰۷\ V$

$V_T=۲۵\ mV$

$A_{E_1}=2A_{E_2}$

$I_{C_{3,4}}=\frac{25\times10^{-3}}{2}=12.5\times10^{-3}\ mA$

$i_o=-g_{m_2}v_{in}$

$\frac{i_o}{v_{in}}=-g_{m_2}$

$g_m=\frac{I_C}{V_T}=\frac{12.5\times10^{-3}}{25\ mV}=0.5\ \frac{mA}{V}$

$i_o=-2\frac{g_m}{2}v_{in}=-g_m v_{in}$

$\rightarrow G_m=\frac{i_o}{v_{in}}=-g_m=-0.5\ \frac{mA}{V}$

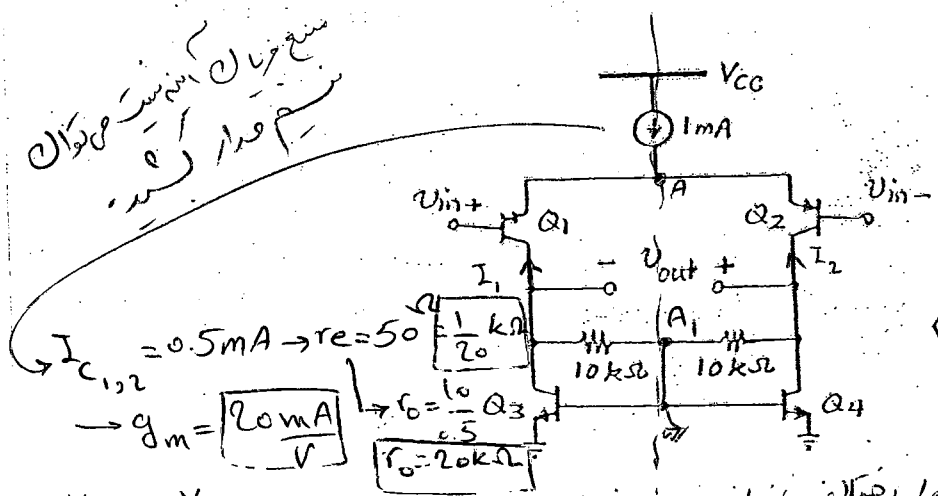
LearnElement.ir

۲۵ ② راهی بگذار از حوزه اولش نورتن هم حل کرد R_o را بدست آوردیم 5^k و بعد را با اتصال کوتاه کردن خروجی بدست آوردیم

$V_o = i_o \times R_o$ $\quad A_d = \dfrac{V_{out}}{V_{in+} - V_{in-}}$ آن تقریباً

تجربی سراسری ۸۹) در مدار شکل مقابل همه ترانزیستورها در ناحیه فعال بایاس شده‌اند. مقدار بهره ولتاژ چقدر است؟

۱) ۲۵۰
۲) ۲۰۰
۳) ۱۵۰
۴) ۱۰۰



منبع جریان ایده‌آل می‌توان رسم مدار کرد.

$\beta = 100$
$V_A = 10V$
$V_T = 25mV$

$I_{C_{1,2}} = 0.5mA \rightarrow r_e = 50\Omega \rightarrow \frac{1}{20}k\Omega$

$\rightarrow g_m = \frac{20mA}{V}$ $\quad r_o = \frac{10}{0.5} = 20k\Omega$

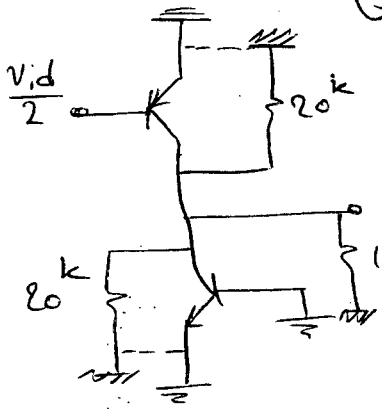
$r_o = 20k\Omega$

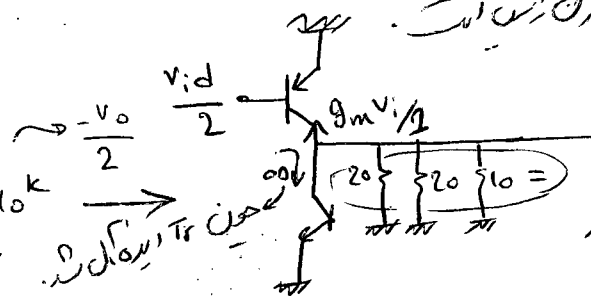
$v_{id} = v_{in+} - v_{in-}$

مثلاً فرض کنیم v_{in+} و v_{in-} با هم 180° اختلاف فاز دارند (A_c از نظر) A زمین است

I_1 و I_2 هم اختلاف فاز دارند و این اختلاف را در $k\Omega$ ها هم وارد می‌شوند

صدا در A_0 به خاطر اختلاف فاز همگان زمین است.





چون r_o ها یکسان شد.

$\frac{-v_o}{2} = -g_m \frac{v_{id}}{2} \times 5$

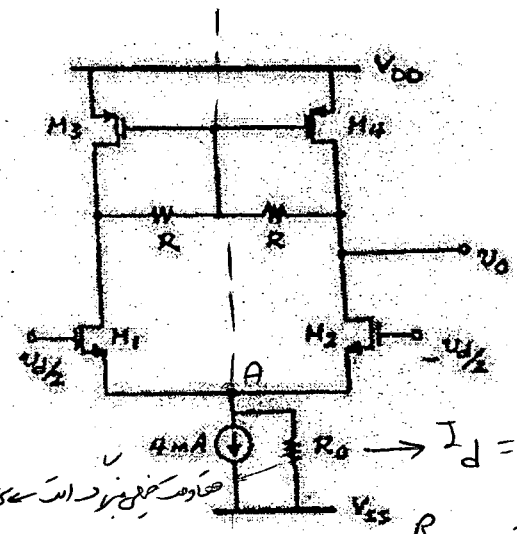
$\rightarrow v_o = 20 \times 5 \times v_{id}$

$\boxed{\frac{v_o}{v_{id}} = 100}$

برق (۸۹) بهره ولتاژ تفاضلی مدار مقابل $\left(\frac{v_o}{v_d}\right)$ کدام است؟

$R = 25\,k\Omega$, $V_A = 100\,V$, $g_m = 2\,\frac{mA}{V}$,
$R_o = 100\,k\Omega$, $g_{mb} = 0$

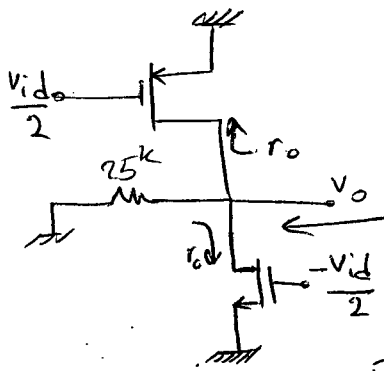
۱) ۱۰۰
۲) ۵۰
۳) ۲۵
۴) ۱۲۵



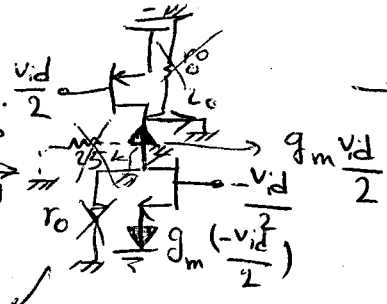
$I_d = 2mA \rightarrow r_o = \frac{V_A}{I_D} = \frac{100}{2m} = 50k\Omega$

مقاومت خروجی منبع جریان سری با R_o

$R_{out} = r_o \| r_o \| 25 = \frac{25}{2}\,k\Omega$



R_{out} حذف اتصال کوتاه



$\rightarrow i_o = g_m \frac{v_{id}}{2}$

اول همه مقاومت‌ها را زمین کنید.

LearnElement.ir

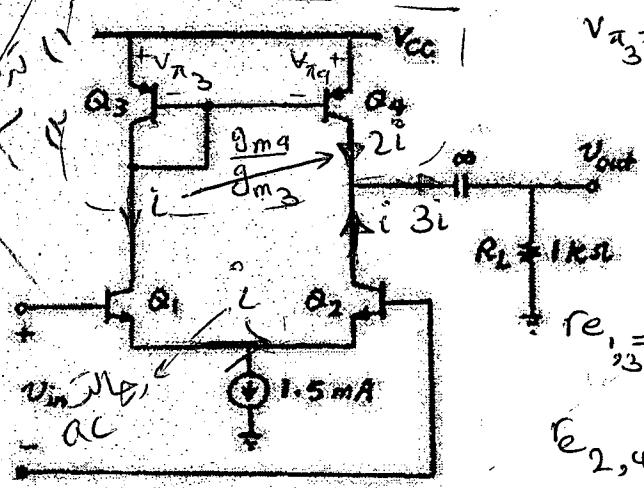
$\rightarrow v_o = R_o \cdot i_o = \frac{25}{2} \cdot g_m \frac{v_{id}}{2} = 25\,v_{id}$

۱۲۶

مهندسی برق - ۸۸) در مدار شکل مقابل همه ترانزیستورها در ناحیه فعال بایاس شده‌اند. مساحت پیوند بیس ـ امیتر ترانزیستورهای Q_2 و Q_4 به ترتیب دو برابر ترانزیستورهای Q_1 و Q_3 است. مقدار بهره ولتاژ $A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$ آن تقریباً کدام است؟

$\beta = 100, A_{E2} = 2A_{E1}, A_{E4} = 2A_{E3}, V_T = 25\,mV, V_A = \infty$

۱) ۲۰
۲) ۴۰
۳) ۳۰
۵۰ (۴



$V_{\pi 3} = V_{\pi 4}$ → شکل درست تر

$A_{E_2} = A_{E_1}$ $\xrightarrow[I_{S_2} = 2I_{S_1}]{V_{BE_1} = V_{BE_2}}$ $I_{C_2} = 2I_{C_1}$

$r_{e_{1,3}} = 50\,\Omega = \frac{1}{20}\,k$ → $I_{C_1} = 0.5$, $I_{C_2} = 1mA$

$r_{e_{2,4}} = 25\,\Omega = \frac{1}{40}\,k$

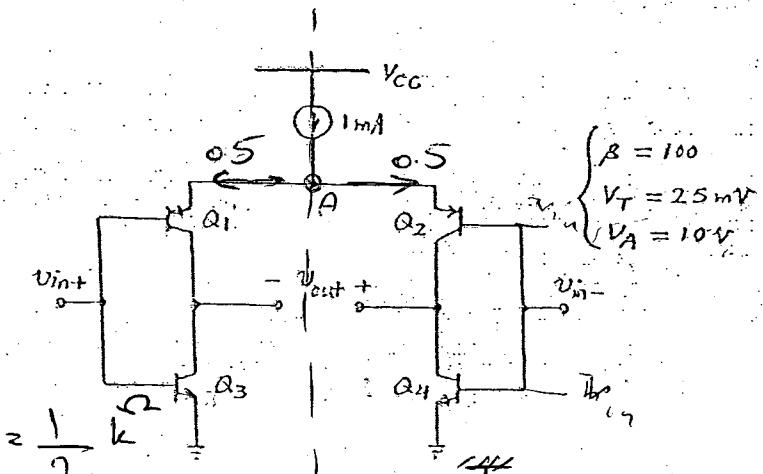
$g_{m_{1,3}} = 20\,\frac{mA}{V}$ $g_{m_{2,4}} = 40\,\frac{mA}{V}$

$i = \frac{V_{in}}{re_1 + re_2} = \frac{V_{in}}{\frac{3}{40}} = \frac{40}{3}V_{in}$

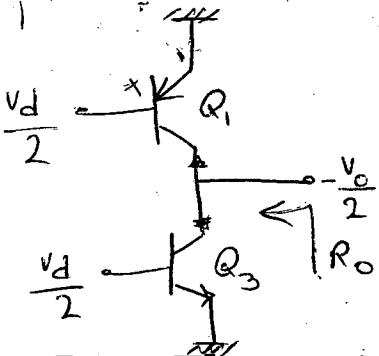
$\rightarrow V_o = 3i \times R_o = 1^k \times 3 \times \frac{40}{3}V_{in} = 40V_{in}$

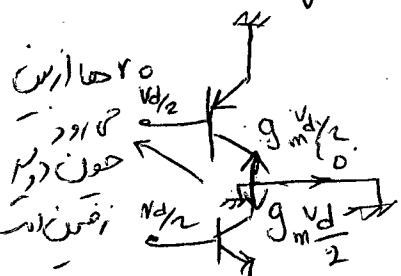
اتریسون - ۸۹) در مدار شکل مقابل همه ترانزیستورها در ناحیه فعال بایاس شده‌اند مقدار بهره ولتاژ $A_d = \frac{V_{out}}{V_{in+} - V_{in-}}$ آن تقریباً چقدر است؟

۱) ۱۰۰
۲) ۲۰۰
۳) ۴۰۰
۴) ۸۰۰



$\begin{cases} re = 50\,\Omega = \frac{1}{20}\,k\Omega \\ r_o = \frac{10}{0.5} = 20k\Omega \\ g_m = 20\,\frac{mA}{V} \end{cases}$





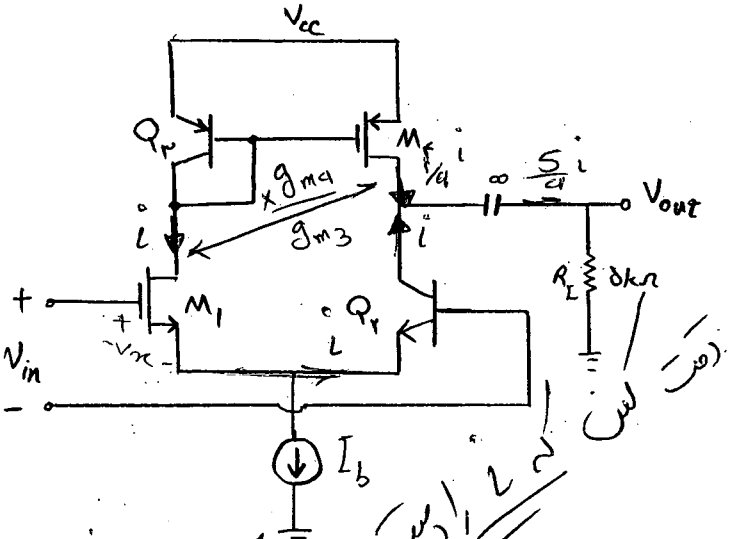
$i_o = 2g_m\frac{V_d}{2}$ → $\frac{V_o}{2} = g_m V_d \times R_o = 20 \times 10$ → $\frac{200}{}$

$V_o = 200 \times 2$

LearnElement.ir

۱۲۷

اتوماسیون ۹۰-) در مدار شکل زیر همه ترانزیستورها در ناحیهٔ فعال بایاس شده‌اند مقدار بهرهٔ $A_d = \frac{V_{out}}{V_{in}}$ آن تقریباً چقدر است؟ (مهندسی)



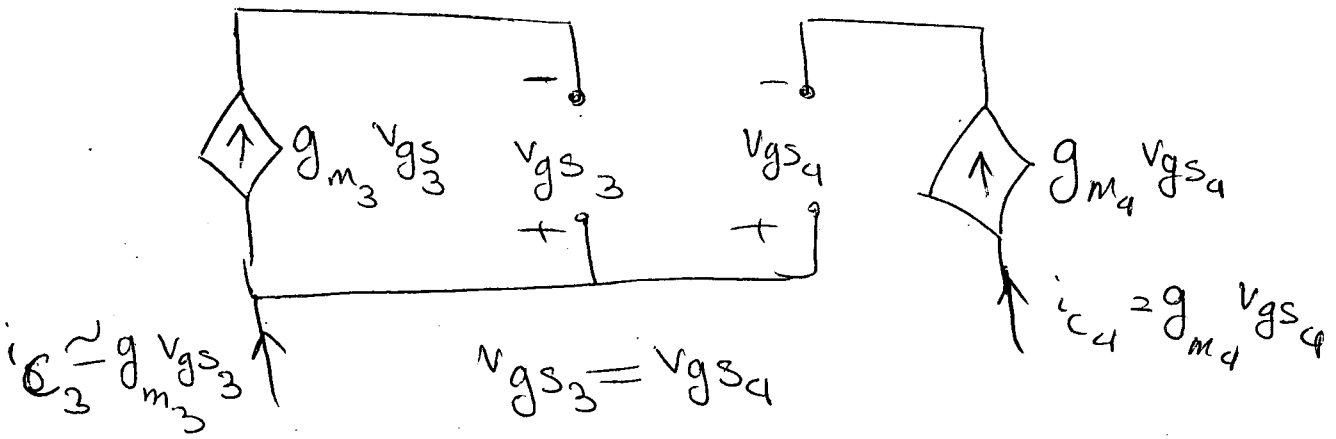
M_1, M_4: $V_A = \infty$, $g_m = 10 \frac{mA}{V}$

Q_2, Q_3: $V_A = \infty$, $g_m = 40 \frac{mA}{V}$

۱) ۵۰ ۲) ۷۵ ۳) ۱۰۰ ۴) ۱۲۵

$$i = \frac{V_{in}}{re_2 + \frac{1}{g_{m_1}}} = \frac{V_{in}}{\frac{1}{10} + \frac{1}{40}} = 8V_{in}$$

$$\longrightarrow V_o = \frac{5}{4} i \times 5^{k} = \frac{25}{4} \times 8 V_{in} = 50 V_{in}$$



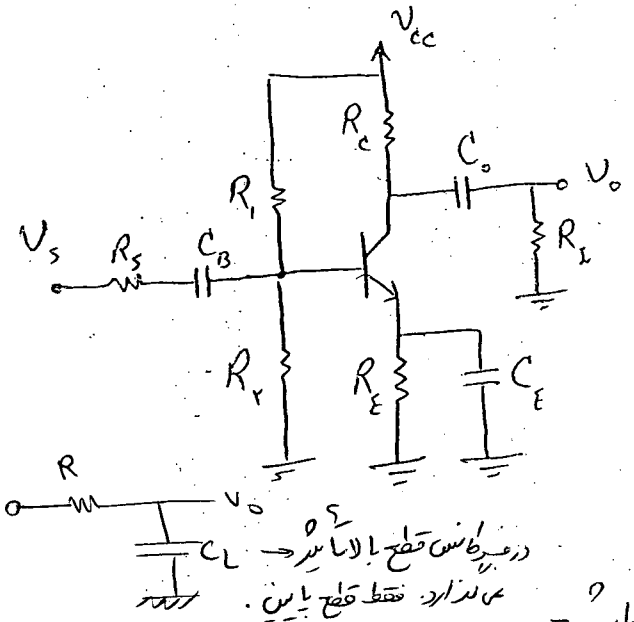
$$V_{gs_3} = V_{gs_4}$$

$$\longrightarrow \frac{i_{C_4}}{i_{C_3}} = \frac{g_{m_4}}{g_{m_3}}$$

LearnElement.ir

بررسی پاسخ فرکانسی تقویت کننده های الکترونیکی :

هر تقویت کننده بخاطر وجود عناصری مانند خازن یا سلف دارای فرکانس قطع پایین و فرکانس قطع بالا در تابع تبدیل خود می باشد. در یک تقویت کننده ترانزیستوری مانند شکل روبرو



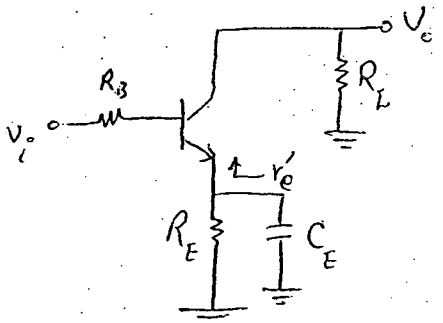
خازنهای کوپلاژ C_B و C_E و C_o باعث به وجود آمدن فرکانس قطع پایین می شوند و خازنهای داخلی ترانزیستور (C_{BE}, C_{CE}, C_{CB}) باعث به وجود آمدن فرکانس قطع بالایی شود

در فرکانس قطع بالا C_L اثر میکند و نقش قطع پایین.

در اینجا تنها در مورد فرکانس قطع پایین (f_L) بحث خواهیم داشت.

محاسبه فرکانس قطع خازن در مدارات الکترونیکی :

مدار نمونه زیر را در نظر بگیرید. خازن C_E در فرکانسهای پایین امپدانس $\frac{1}{sC_E}$ را ایجاد می کند مطلوب محاسبه بهره ولتاژ $\frac{V_o}{V_i}$ است



$$R'_E = R_E \,||\, \frac{1}{sC_E} = \frac{R_E \times \frac{1}{sC_E}}{R_E + \frac{1}{sC_E}} = \boxed{\frac{R_E}{1 + sC_E R_E}}$$

$$\frac{V_o}{V_{in}} = -\frac{R_L}{\underbrace{R_E + r_e + \frac{R_B}{\beta}}_{r'_e}} = -\frac{R_L}{\frac{R_E}{1+sC_E R_E} + r'_e} = -\frac{R_L(1+sC_E R_E)}{(R_E + r'_e)(1 + sC_E \underbrace{\frac{R_E r'_e}{R_E + r'_e}}_{R_E \,||\, r'_e})}$$

صفر

$$\rightarrow \frac{V_o}{V_{in}} = -\left(\frac{R_L}{R_E + r'_e}\right)\left(\frac{1 + sC_E R_E}{1 + sC_E R_{CE}}\right)$$

$$\boxed{R_{CE} = R_E \,||\, r'_e}$$

صفر ← $-\frac{1}{R_{CE}C_E}$

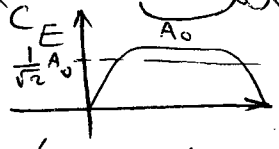
LearnElement.ir

۵/

صفر : $S_Z = \frac{-1}{C_E R_E} \rightarrow \omega_Z = \frac{1}{C_E R_E} \xrightarrow[\text{rad/s}]{f=\frac{\omega}{2\pi}} f_Z = \frac{1}{2\pi C_E R_E}$ Hz

قطب : $S_P = \frac{-1}{C_E R_{CE}} \rightarrow \omega_P = \frac{1}{C_E R_{CE}} \xrightarrow{\text{rad/s}} f_P = \frac{1}{2\pi C_E R_{CE}}$ Hz

$\left|\frac{V_o}{V_{in}}(j\omega)\right|_{f=f_L} = \frac{1}{\sqrt{2}} A_0$



بنابراین هر خازن کوپلاژ یا بای پس یک فرکانس صفر و یک فرکانس قطب دارد که می‌توان فرکانس قطع پایین (-۳dB) ناشی از آنرا

فرمول صحیح ← $f_L = \sqrt{f_P^2 - 2f_Z^2}$ ← (*)

or $f_L = \sqrt{(f_{P_1}^2 + f_{P_2}^2 - \cdots) - 2(f_{Z_1}^2 + \cdots)}$

طبق رابطه روبرو حساب نمود: $\omega_L = \sqrt{\omega_P^2 - 2\omega_Z^2}$ ← فرمول صحیح (کسانی می‌گیرند)

اگر $f_P \gg f_Z \Rightarrow R_E \gg R_{CE}$ (R_{CE} ↓ $r_e \| R_E$) $\rightarrow \boxed{f_L \approx f_P = \frac{1}{2\pi C_E R_{CE}}}$ و $\boxed{\omega_L = \frac{1}{C_E R_{CE}}}$

نکته: از فرمول (*) وقتی استفاده می‌کنیم که درست صحت از فرکانس قطع پایین صفر کرده باشد. یا اینکه صفرها $R_E \gg R_{CE}$ برقرار نباشد.

- جهت محاسبه فرکانس قطع پایین کل مدار فرکانس قطع پایین هر خازن را حساب نموده و فرکانس قطع پایین مدار طبق روابط زیر محاسبه می‌شود هر خازن یک فرکانس قطع پایین ایجاد می‌کند.

۱) فرکانس قطع پایین مدار:
$$\begin{cases} f_L = \sum f_{C_i} \\ \omega_L = \sum \omega_{C_i} \end{cases}$$

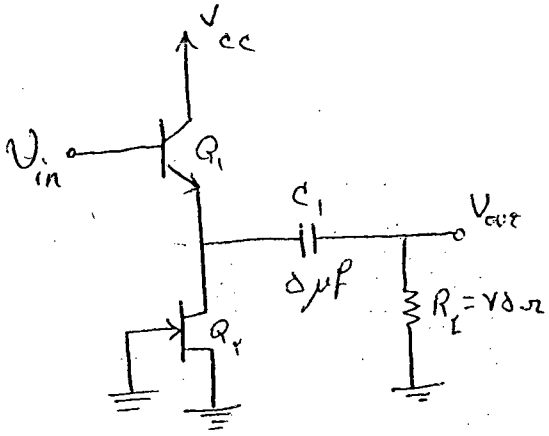
۲) تست‌ها از این فرمول حل می‌شود.
$$\begin{cases} f_L = \sqrt{\sum (f)_{C_i}^2} \\ \omega_L = \sqrt{\sum (\omega)_{C_i}^2} \end{cases}$$

LearnElement.ir

اتوماسیون ۸۶- در مدار شکل زیر ترانزیستورهای Q_1 و Q_2 در ناحیهٔ فعال بایاس شده‌اند. مقدار فرکانس قطع ۳dB پایین بهره ولتاژ $A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$ آن برابر است با:

$I_{DSS}=1mA$; $V_p=-2V$; $V_T=250mV$; $V_A=\infty$

$\beta=100$

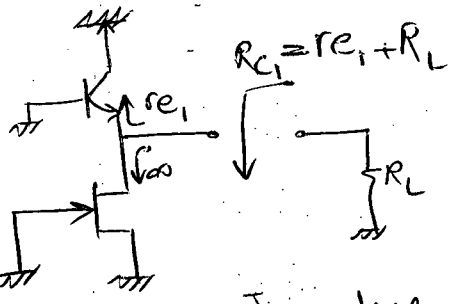


۱) $\omega_L = 1000 \frac{rad}{s}$

۲) $\omega_L = 2000 \frac{rad}{s}$

۳) $\omega_L = 4000 \frac{rad}{s}$

۴) $\omega_L = 8000 \frac{rad}{s}$



$R_{C_1} = r_{e_1} + R_L = 25 + 75 = 100\Omega = 0.1k$

$$\omega = \frac{1}{C_1 R_{E_1}} = \frac{1}{5\times10^{-6}\times100}$$

$$= \frac{10^6}{500} = \frac{10^4}{5}$$

$$= 2\times10^3 \frac{rad}{s}$$

$$\omega_L = \frac{1}{C_E R_{CE}}$$

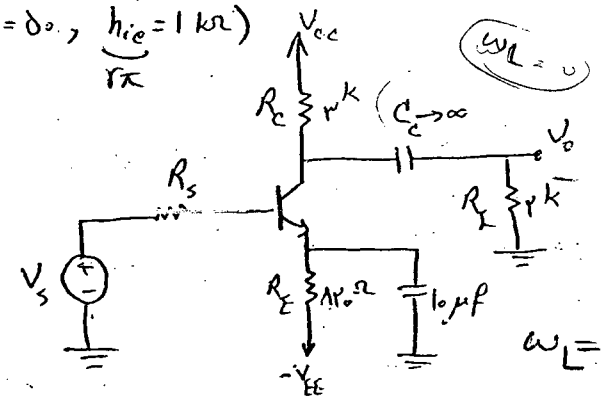
$\rightarrow V_{gs_2}=0 \rightarrow I_{d_2}=I_{DSS}=1mA$

$\rightarrow I_{C_1}=I_{d_2}=1mA$

$\rightarrow r_e = 25\Omega = \frac{1}{40}k$

برق ۷۷- در مدار زیر فرکانس قطع پایین مدار ۰ Hz (صفر) است. مقدار مقاومت R_s به کدام گزینه نزدیک‌تر است؟

$(h_{fe}=50,\ \underbrace{h_{ie}}_{r_\pi}=1k\Omega)$



$\omega_L = 0$

۱) 4.9^k

۲) 1.00^k

۳) 9.80^k

۴) فرکانس قطع پایین این مدار می‌تواند ۰ Hz باشد.

$f_L = \sqrt{f_p^2 - 2f_z^2}$ $\quad\underline{L}\quad$ $\omega_L = \sqrt{\omega_p^2 - 2\omega_z^2}$

$\omega_L = 0 \rightarrow \omega_p = \sqrt{2}\,\omega_z$

$\rightarrow \frac{1}{R_{CE}C_E} = \sqrt{2}\frac{1}{C_E R_E} \rightarrow R_E = \sqrt{2}\,[R_E \| r'_e]$ (R_{CE})

$\rightarrow R_E = \sqrt{2}\,\frac{R_E \times r'_e}{R_E + r'_e}$

$\rightarrow R_E + r'_e = 1.41\, r'_e \rightarrow R_E = 0.41\, r'_e$

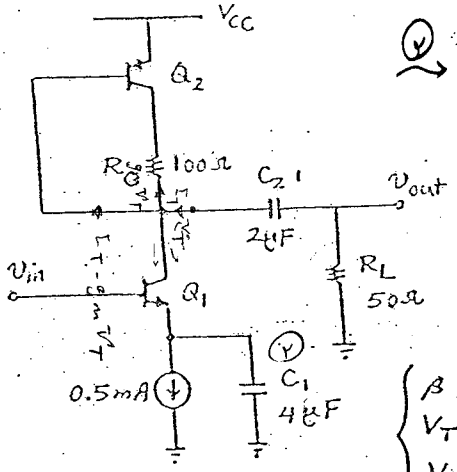
$r'_e = 2.5 R_E = 2.5\times820\Omega$

$\rightarrow r'_e = \frac{h_{ie}+R_s}{\beta+1} = 2.5\times820 \rightarrow R_s \approx 100^k$

LearnElementir

www.bargh-arshad.com

آزمایسون ۸۹ | در مدار شکل مقابل ترانزیستورهای Q_1 ، Q_2 در ناحیه فعال بایاس شده‌اند. مقدار فرکانس قطع 3dB – پایین بهره ولتاژ $A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$ آن تقریباً چند $\frac{krad}{s}$ است؟



$\beta = 100$
$V_T = 25mV$
$V_A = \infty$

۱) ۳۱۶
۲) ۱۵
۳) ۷۱۸
۴) ۱۰

$R_{E_2} = r_{e_2} = \frac{1}{20}\,k$

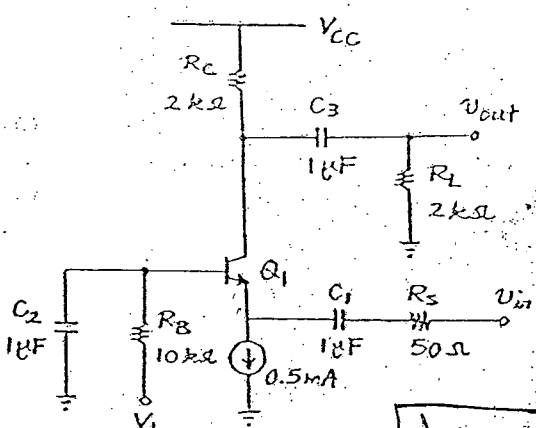
$\omega_{p_2} = \frac{1}{4\times10^{-6}\times\frac{1}{20}\times10^{-3}} = \frac{1}{2\times10^{-6}\times10^{3}\times10^{-1}} = \frac{1}{2}\times10^{4} = 5^{k}$

$R_{CE_1} = \frac{1}{100\times20} + \frac{1}{20} = \frac{1+100}{100\times20} \simeq \frac{1}{20}^{k} =$

$\omega_{p_1} = \frac{1}{2\times10^{-6}\times\frac{1}{20}\times10^{3}} = \frac{1}{10^{-7}\times10^{3}} = 10^{k}$ ①

$\omega_L = \sqrt{10^2+5^2} \simeq 10$

آزمایسون ۸۹ | در مدار شکل مقابل ترانزیستور Q_1 در ناحیه فعال بایاس شده است. مقدار فرکانس قطع 3dB – پایین بهره ولتاژ $A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$ آن چند $\frac{krad}{s}$ است؟



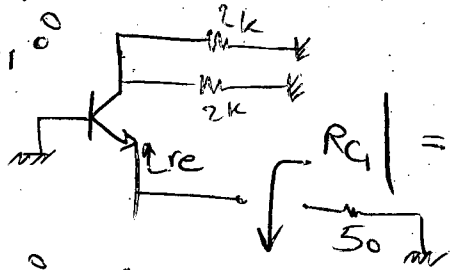
$\beta = 100$
$V_T = 25mV$
$V_A = \infty$

۱) ۵
۲) ۱۰
۳) ۲۰
۴) ۴۵

$\omega = \frac{1}{100\times1\times10^{-7}} = 10^{4}\,\frac{krad}{s}$

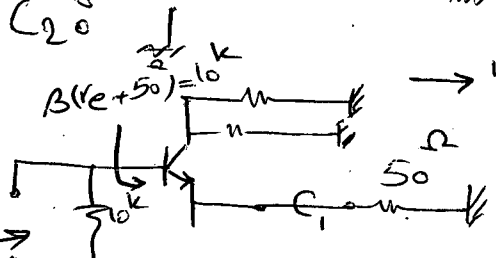
$I_{C_1} = 0.5mA \rightarrow r_e = 50\Omega \rightarrow \beta = 100 \rightarrow h_{ie} = 5k\Omega$

خازن C_1:



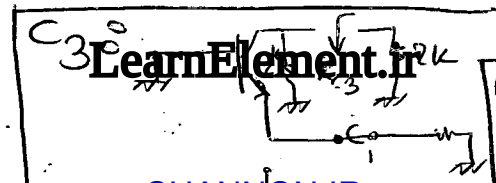
$R_{C_1} = r_e + 50 = 100\Omega \rightarrow \omega_{L_1} = \frac{1}{C_1 R_{C_1}} = 10^{4} = 10\,\frac{krad}{s}$

خازن C_2:



$\omega_{L_2} = \frac{1}{R_{E_1}C_2} = \frac{1}{10^{-6}\times5\times10^{3}} = \frac{1}{5}\,\frac{krad}{s}$

خازن C_3:



$R_{C_3} = 2+2 = 4k$

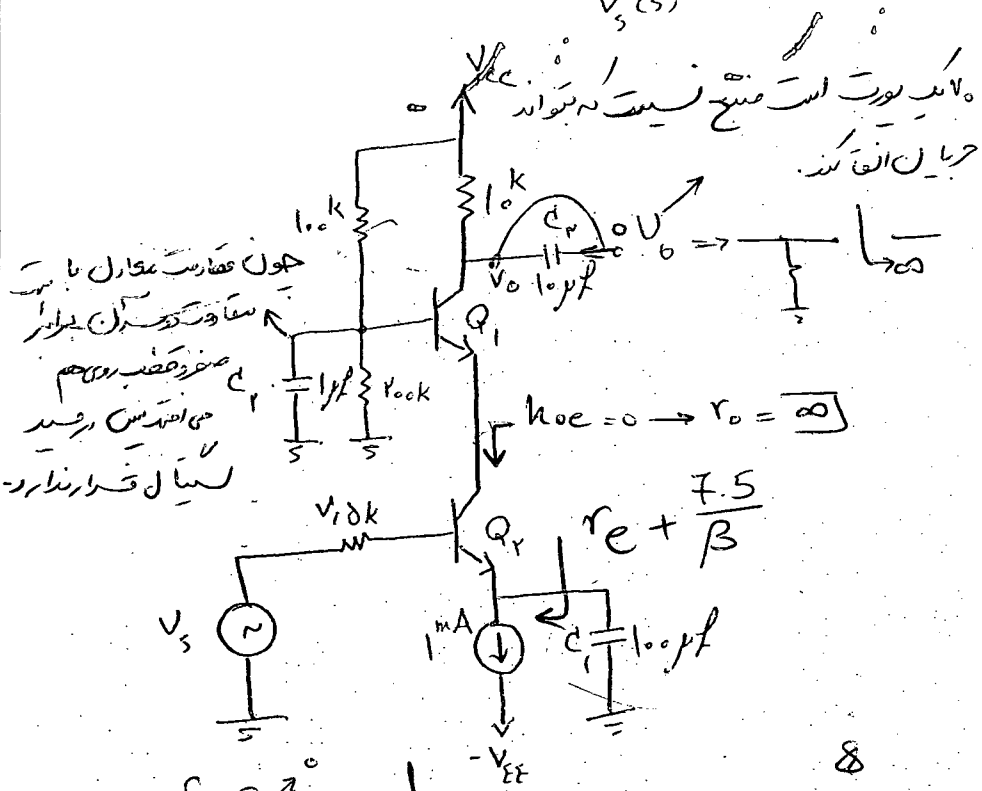
$\omega_{L_3} = \frac{1}{C_3 R_3} = \frac{1}{1\times10^{-6}\times4\times10^{3}} = \frac{1}{4}\,\frac{krad}{s}$

$\omega_L = \omega_{L_1} + \omega_{L_2} + \omega_{L_3}$

$= 10 + \frac{1}{5} + \frac{1}{4} \simeq 10^{k}$

LearnElement.ir

برق ۸۰) در مدار شکل زیر A_0 بهره فرکانس میانی تقویت کننده و ترانزیستورهای Q_1 و Q_2 یک سان بوده و دارا $h_{oe}=0$ ، $h_{fe}=100$ هستند. تابع تبدیل $A_v(s)=\frac{V_o(s)}{V_s(s)}$ مدار کدام است؟

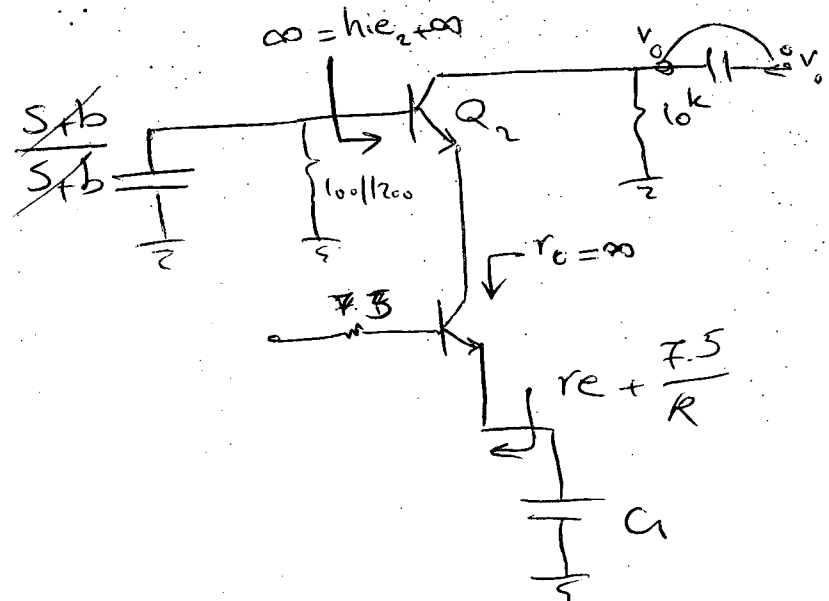


$C_1 \Rightarrow \begin{cases} S_Z = \frac{1}{C_E R_E} \rightarrow \infty \\ S_P = \frac{1}{C_E R_{C_E}} \end{cases} \Rightarrow$

پس نقطه خارج صفر قطب داریم یعنی: $A_0 \frac{S}{S+a}$

$C_2 \leftarrow$ در سیگنال قرار ندارد ✗ $C_3 \leftarrow$ بورت خروجی است مقاومت معادل در مخالفت است ✗

لی صفر و قطب روی هم هستند ✗



۱) $\frac{A_0 s}{(s+100)}$

۲) $\frac{A_0 s^2}{(s+100)(s+10)}$

۳) $\frac{A_0 s^2}{(s+100)(s+10)}$

۴) $\frac{A_0 s^3}{(s+100)(s+10)(s+10)}$

LearnElement.ir

www.bargh-arshad.com

۴۵/ برق ۸۴) در صورتیکه برای J-FET های، $g_m = 1.7 \frac{mA}{V}$ باشد فرکانس حد پایین مدار چقدر است؟

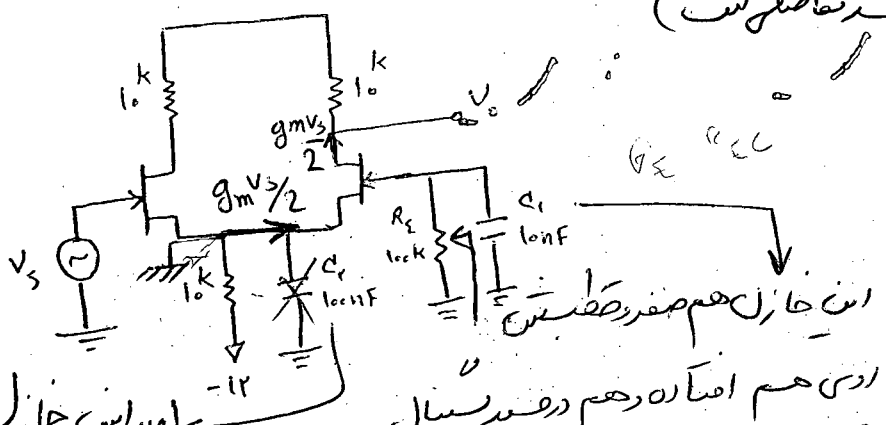
(صدا در حد تقاضلی است)

۱) ۰ Hz

۲) ۵.۷ kHz

۳) ۱۶۰ Hz

۴) ۱۸۰ Hz



این خازن هم صفر و قطب میشه

این هم افتاده هم در حد سیگنال

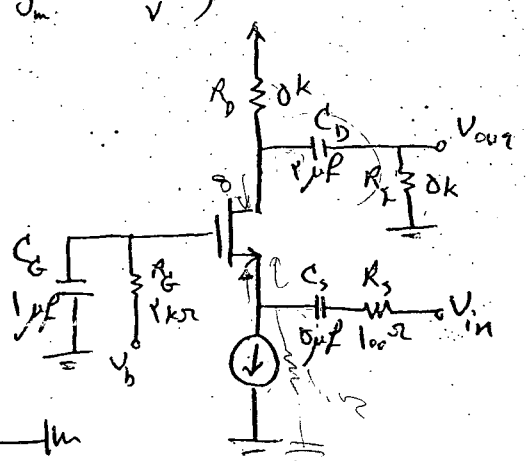
قدار ندارد ← C_1 نیز در محاسبه فرکانس قطب ندارد

امپدانس خازن C_2 در $\frac{V_o}{V_s}$ قطبی ندارد.

$$V_o = g_m \frac{V_s}{2} \times 10^k =$$

۴۷/ برق ۸۷) در مدار شکل زیر ترانزیستور M_1 در ناحیه اشباع بایاس شده است. فرکانس قطع ۳- دسیبل پایین بهره ولتاژ $A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$ آن برابر کدام است؟

$(r_{ds} = \infty \ , \ g_m = 10 \frac{mA}{V})$

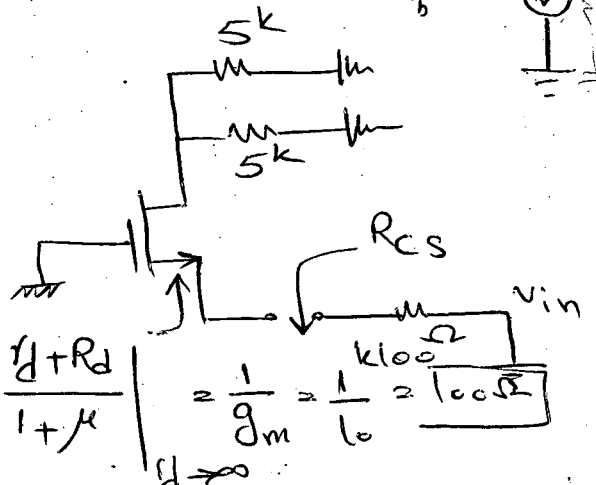


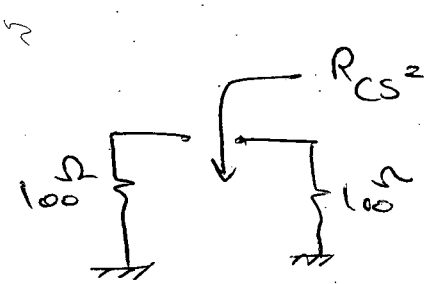
$\omega_L = 500 \frac{rad}{s}$

$\omega_H = 1050 \frac{rad}{s}$

$\omega_X = 1000 \frac{rad}{s}$

$\omega_X = 2050 \frac{rad}{s}$





$\frac{r_d + R_d}{1+\mu} \Big|_{r_d = \infty} = \frac{1}{g_m} = \frac{1}{10} = 100\Omega$

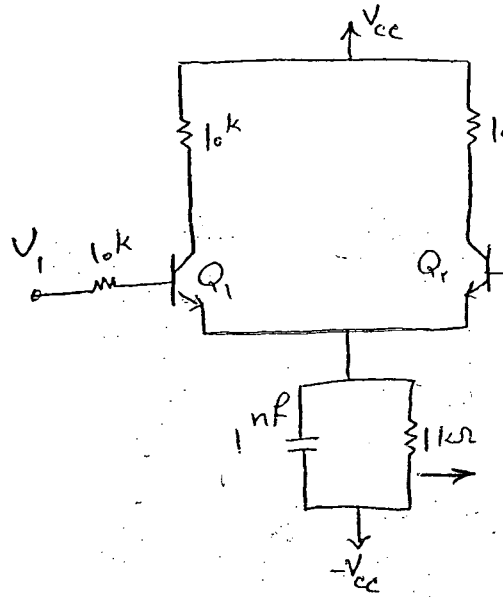
$\omega_X = \frac{1}{5 \times 10^{-6} \times 200} = 1000 \frac{rad}{s}$

LearnElement.ir

۲۰ در مدار تقویت کننده تفاضلی داده شده فرکانسی که در آن CMRR به مقدار ۳dB کاهش می یابد به کدام گزینه نزدیک تر است

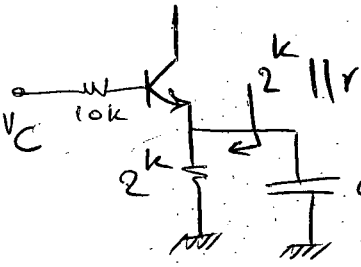
$h_{fe} = 100$, $h_{ie} = 5\ k\Omega$

۱) ۱ MHz
۲) ۲ MHz
۳) ۴ MHz
۴) ۵۰۰ MHz



خازن امیتر R_E را اتصال می دهد ← پس باید حالت مد مشترک یا A_c را بررسی کنیم ← خازن تفاضلی ← مقاومت دو برابر

$$CMRR = \frac{A_d}{A_c}$$

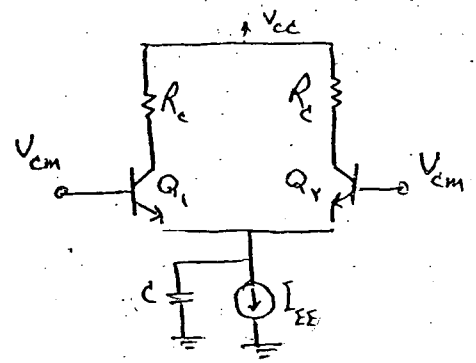


$$2^k \| r'_e = 2^k \| \left(r_e + \frac{10}{\beta}\right) = 2^k \| \left[\frac{h_{ie} + 10^k}{\beta = 100}\right] \simeq 0.15k = 150\ \Omega$$

(0.15 = 5 + 10k)

$$f_L = \frac{1}{2\pi C_E R_{C_E}} = \frac{1}{2\pi \times 0.5 \times 10^{-9} \times 150} = 2.2\ MHz$$

۲۱) در تقویت کننده تفاضلی شکل مقابل کاملاً متقارن بوده و منبع جریان I_{EE} ایده آل است. فرکانس قطع ۳dB مربوط به بهره ولتاژ حالت مشترک $\frac{V_o}{V_{in,cm}}$ ناشی از وجود خازن C کدام یک از مقادیر زیر است؟



$(g_{m_1} = g_{m_2} = g_m = 1\ \frac{mA}{V}$, $C = \frac{1}{\pi}\ pF$, $R_c = 0k\Omega)$

خازن نصف ← مقاومت 2 برابر

۱) $f_b = 20\ MHz$
۲) $f_b = 40\ MHz$
۳) $f_b = 100\ MHz$
۴) $f_b = 200\ MHz$

LearnElement.ir

www.bargh-arshad.com

۱۵/ برق - ۸۸) در مدار شکل زیر ترانزیستور M_1 در ناحیهٔ اشباع بایاس شده است. و منبع جریان I_b ایده‌آل است

فرکانس قطع ۳dB - پایین بهره ولتاژ $A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$ آن برحسب $\frac{krad}{s}$ تقریباً برابر است با:

$(g_m = 10 \frac{mA}{V}\ ,\ r_o = \infty)$

۱) r_1

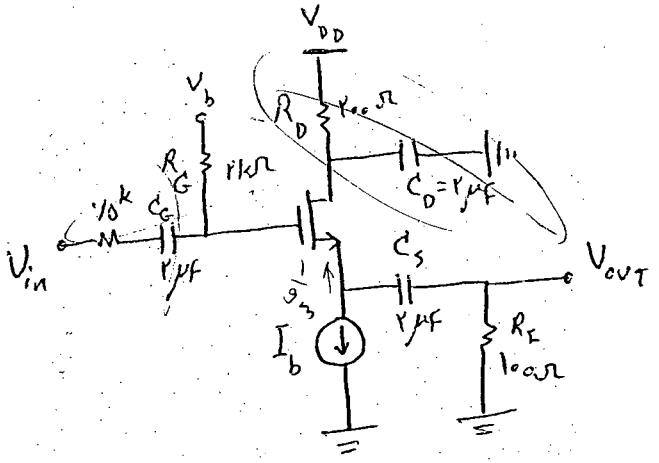
۲) $r_1 V$

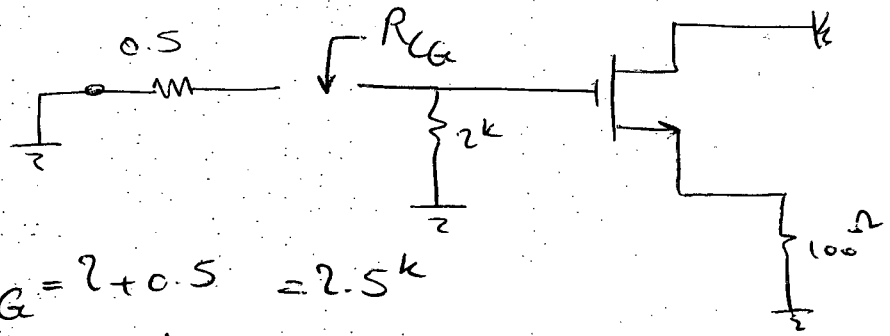
۳) ۵

۴) ۰٫۲

(جواب درست)

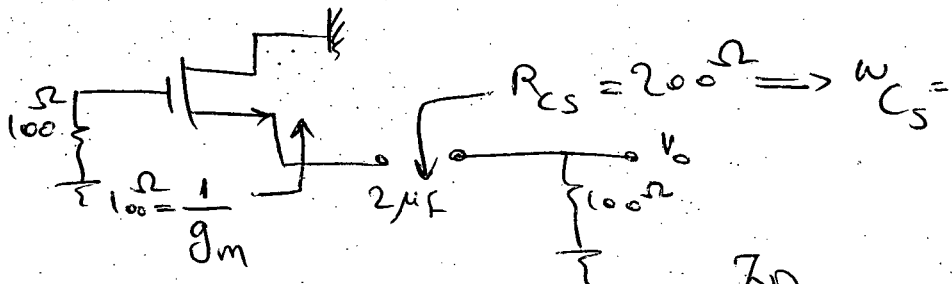
$$\begin{cases} \omega_L = \omega_{C_G} + \omega_{C_S} = 2.7 \frac{krad}{s} \\ \omega_L = \sqrt{\omega_{C_S}^2 + \omega_{C_G}^2} = 2.5 \end{cases}$$



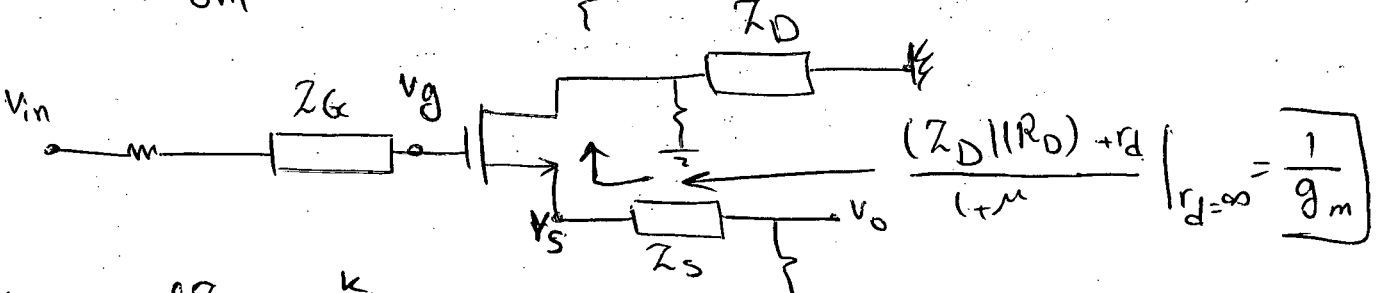


$$R_{CG} = 2 + 0.5 = 2.5^k$$

$$\omega_{C_G} = \frac{1}{2.5 \times 10^3 \times 2 \times 10^{-6}} = 0.2 \frac{krad}{s}$$



$$R_{CS} = 200^\Omega \Longrightarrow \omega_{C_S} = \frac{1}{2 \times 10^{-6} \times 200} = \frac{10^6}{4} = 2.5 \frac{krad}{s}$$



$$\frac{V_S}{V_g} = + \frac{(Z_S + 0.1^k)}{(Z_S + 0.1) + \left[\frac{1}{g_m}\right]}$$

Z_D تغییر ندارد.

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{V_g}{V_{in}} \times \frac{V_S}{V_g} \times \frac{r_o}{r_S}$$

Z_G تغییر دارد.

فقط

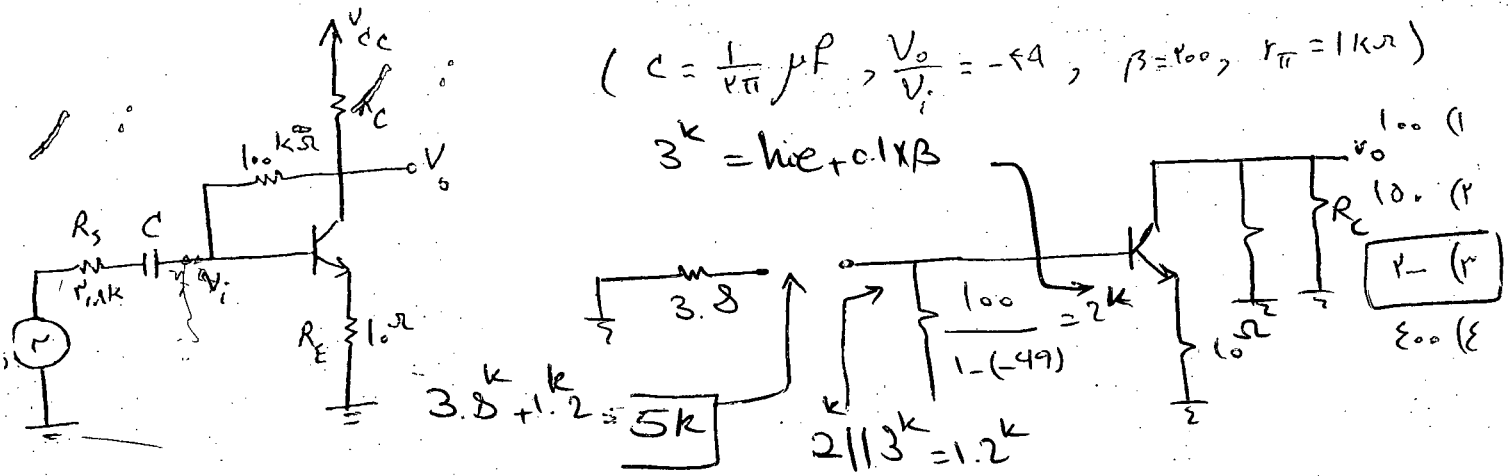
جواب درست.

$$\omega_L = 2.7 \frac{krad}{s}$$

LearnElement.ir

۹

کاردانی - کارشناسی برق ۸۸ تیر ۸۸) با توجه به شکل مقابل، فرکانس قطع پایین مدار برحسب هرتز چقدر است؟



$$\left(C = \frac{1}{2\pi}\,\mu f\ ,\ \frac{V_o}{V_i} = -49\ ,\ \beta = 200\ ,\ r_\pi = 1k\Omega\right)$$

$$3^k = hie + 0.1\times\beta$$

$$3.8^k + 1.2^k = \boxed{5k}$$

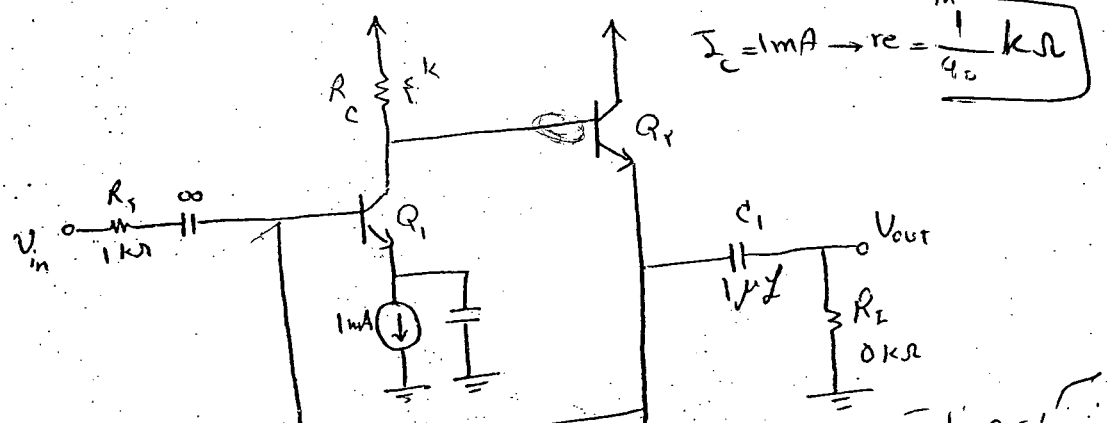
$$2\|3^k = 1.2^k$$

$$\frac{100}{1-(-49)} = 2^k$$

$$f = \frac{1}{2\pi C R_C} = \frac{1}{2\pi \times \frac{1}{2\pi}\times 10^{-6}\times 5\times 10^{3}} = \boxed{200Hz}$$

اتوماسیون ۸۶) در مدار شکل زیر ترانزیستورهای Q_1 و Q_2 در ناحیهٔ فعال بایاس شده‌اند. مقدار فرکانس قطع $-3dB$ پایین بهره ولتاژ $A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$ آن تقریباً برابر است با:

$$(V_A = \infty\ ,\ V_T = 25mV\ ,\ \beta = 100)$$



$I_C = 1mA \rightarrow re = \frac{1}{40}\,k\Omega$

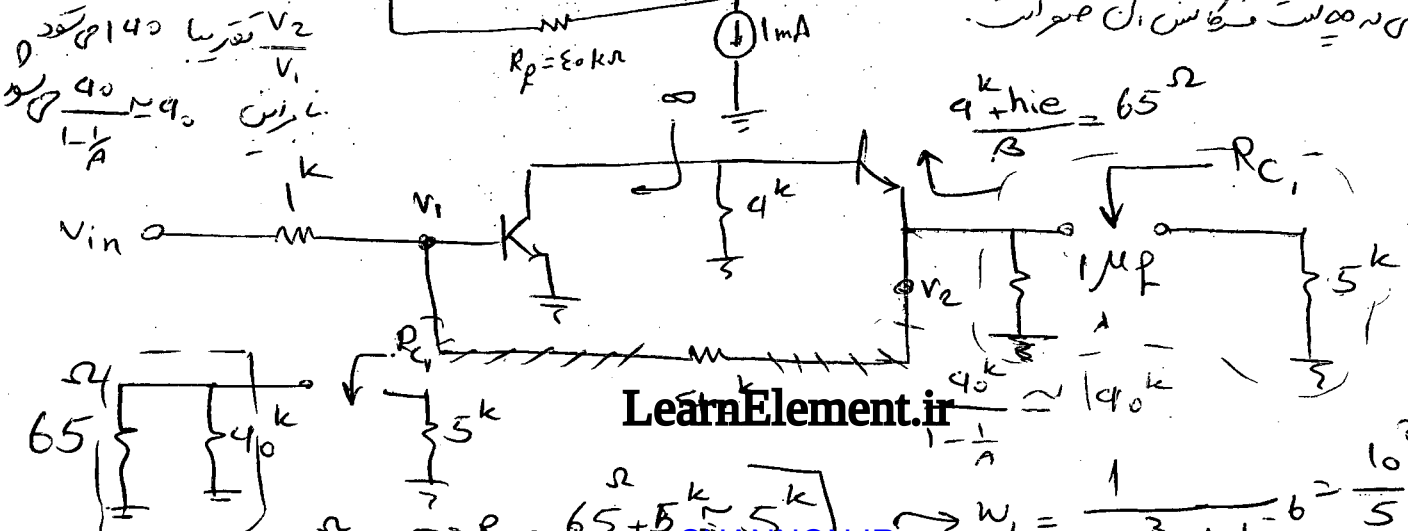
$\omega_1 = 400\ \frac{rad}{s}$

$\omega_2 = 200\ \frac{rad}{s}$

$\omega_3 = 100\ \frac{rad}{s}$

$\omega_4 \geq 100\ \frac{rad}{s}$

هرکدام زیاد بیشتر باشد فرکانس آن صحیح است.

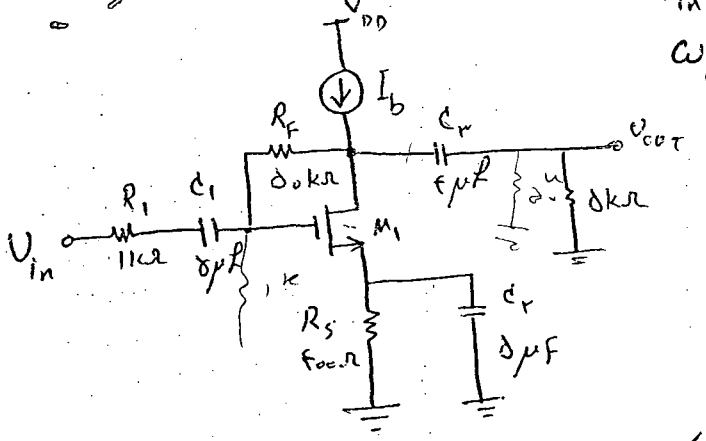


LearnElement.ir

$$65^\Omega + \frac{\beta}{5}^k \rightarrow \omega_1 = \frac{1}{\tau} = \frac{10^3}{5} = 200\ \frac{rad}{s}$$

۱۷/ اتوماتیسیون - ۸۸) در مدار تقویت‌کننده شکل زیر ترانزیستور M_1 در ناحیه اشباع بایاس شده است.

فرکانس قطع 3dB- پایین بهره ولتاژ $A_V = \frac{V_{out}}{V_{in}}$ آن برحسب $\frac{krad}{s}$ تقریباً چقدر است؟



$\omega_L = \omega_{C_1} + \omega_{C_2} + \omega_{C_3}$

$= 0.1^k + 0.005^k + 2.5^k$

$\simeq 2.5^k$

۱) ۱٫۵

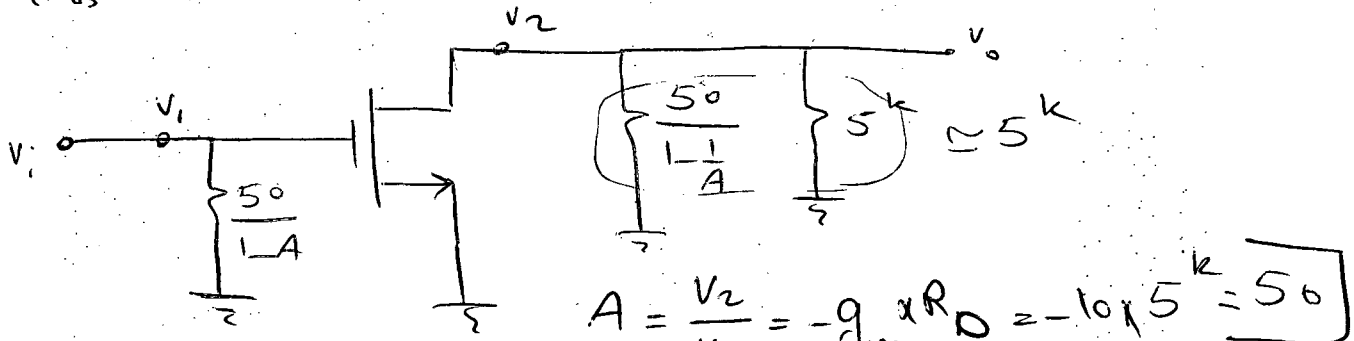
۲) ۲٫۰

۳) ۲٫۵

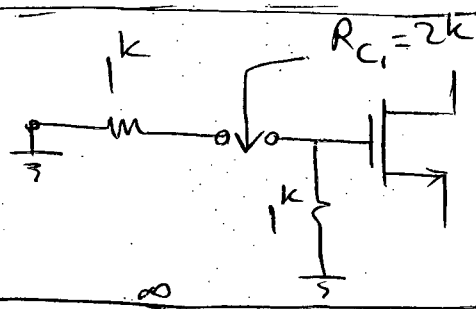
۴) ۳٫۰

مدار را برای بدست آوردن A در فرکانس‌های میانی رسم می‌کنیم:

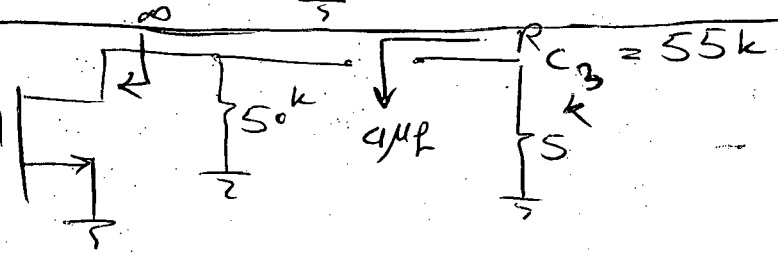
M_1 { $g_m = 10\,mA$, $r_{ds} = \infty$



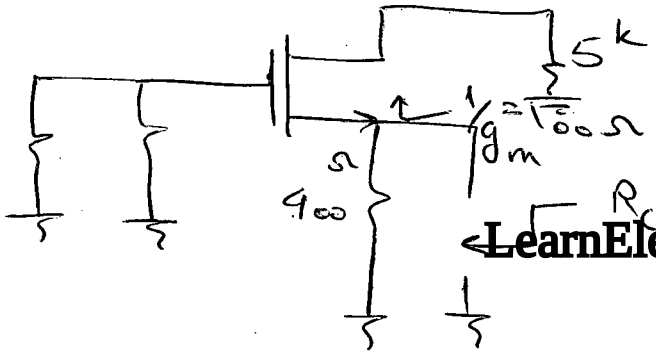
$A = \frac{V_2}{V_1} = -g_m \times R_D = -10 \times 5^k = 50$



$\omega_{C_1} = \frac{1}{2\times10^3 \times 5\times10^{-6}} = 0.1\ \frac{krad}{s}$



$\omega_{C_3} = \frac{1}{55\times10^3 \times 4\times10^{-6}} \simeq 0.005\ \frac{krad}{s}$



$\omega_{C_2} = \frac{1}{5\times10^{-6} \times 20} = 2.5\ \frac{krad}{s}$

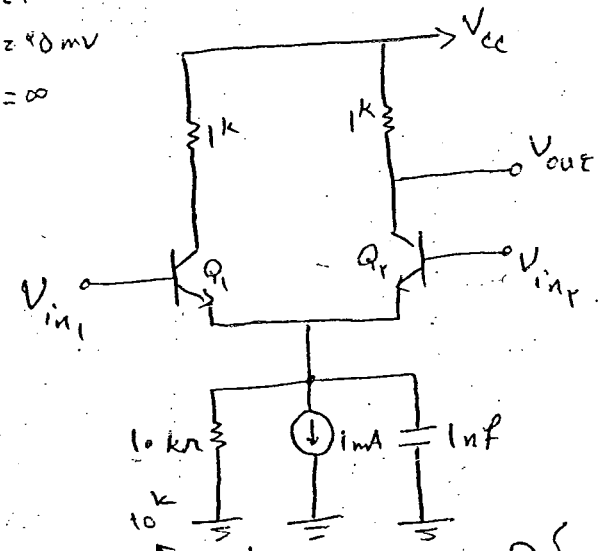
$R_C = 100\Omega \| 400 = 80\Omega$

LearnElement.ir

۸/ (آزمایشی ۸۸-) در مدار تقویت کننده مشکل زیر ترانزیستورهای Q_1 و Q_2 در ناحیه فعال بایاس شده‌اند درجه فرکانسی برحسب $\frac{Mrad}{s}$ مقدار CMRR آن برابر با چند می‌گردد؟

$Q_1 = Q_2$
$\beta = 100$
$V_T = 25mV$
$V_A = \infty$

۱) ۱۰
۲) ۲۰
۳) ۳۰
۴) ۴۰



$$Z_{EE} = R_{EE}^{k} \parallel \frac{1}{j\omega C_E} = 75^{\Omega}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{\omega C_E} \simeq 75^{\Omega}$$

$$\rightarrow \omega = \frac{1}{10^{-9} \times 75} \simeq 13 \frac{Mrad}{s}$$

$$g_m Z_{EE} + 0.5^{*} = 2 \rightsquigarrow \frac{Z_{EE}}{re} = 1.5$$

$$I_{C_{1,2}} = 0.5 \rightarrow re = 50 \rightarrow Z_{EE} = 75^{\Omega}$$

کمی از I_C را بدزدیم ← → (یعنی 0.5* از مقاومت کم شده)

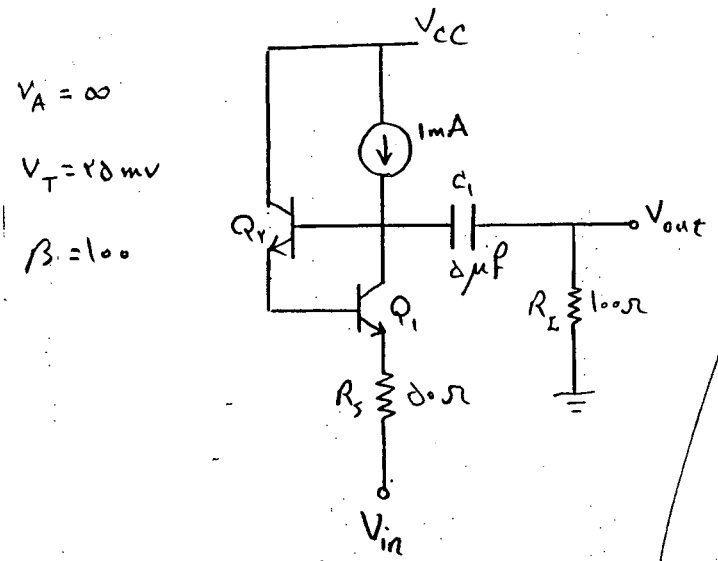
$$CMRR = 2 = g_m Z_{EE}$$

$$\rightarrow Z_{EE} = 100 \longrightarrow \frac{1}{\omega C_E} = 100^{\Omega} \rightarrow \omega = \frac{1}{100 \times 1 \times 10^{-9}} = 10 \frac{Mrad}{s}$$

LearnElement.ir

۹

برق - ۹۰) در مدار شکل زیر همه ترانزیستورها در ناحیه فعال بایاس شده‌اند. منبع جریان ایده‌آل است. مقدار فرکانس قطع پایین ۳ dB - بهره ولتاژ $A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$ آن تقریباً چند کیلو رادیان بر ثانیه $\left(\frac{krad}{s}\right)$ است؟



$V_A = \infty$

$V_T = 25mV$

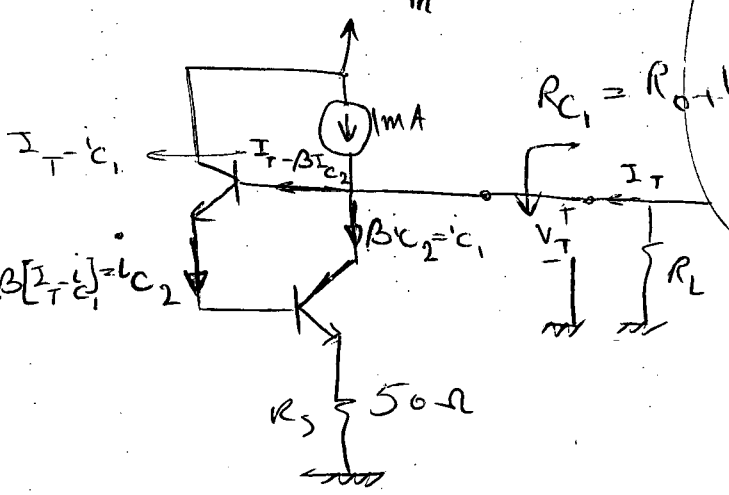
$\beta = 100$

۱) $\omega_L = 0.5$

۲) $\omega_L = 1$

۳) $\omega_L = 2$

۴) $\omega_L = 1.5$



$R_{C_1} = R_o + 100\Omega = 100 + 100 = 200$

$\omega_L = \frac{1}{R_{C_1} * C_1} = \frac{1}{200 \times 10^{-6} \times 5}$

$= 1000 \frac{rad}{s}$

$= 1k \frac{rad}{s}$

$I_{C_1} = 1mA \rightarrow re_1 = 25\Omega$

$I_{C_2} = \frac{I_{C_1}}{\beta} = \frac{1mA}{100} \rightarrow re_2 = \beta re_1 = 2500\Omega$

$\beta[I_T - i_{C_1}] = \frac{i_{C_1}}{\beta}$

$\beta^2 I_T = (\beta+1) i_{C_1}$

$\rightarrow i_{C_1} = \beta I_T$

$V_T = (\beta re_2)\underbrace{[I_T - i_{C_1}]}_{i_{b_2}} + \beta re_1 \frac{i_{C_1}}{\beta} + 50\Omega \times i_{C_1} = \beta re_2 \left[I_T\left(1 - \frac{\beta^2}{(\beta^2+1)}\right)\right] + [(re_1 + 50)] \left[\frac{\beta^2}{\beta^2+1} I_T\right]$

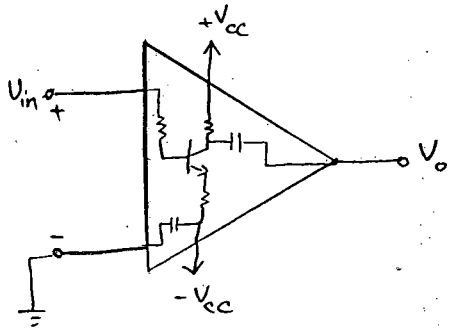
$\frac{1}{\beta^2+1}$

$V_T = \underbrace{\beta re_2}_{\beta^2 re_1} \times I_T + 75 I_T = (re_1 + 75) I_T = 100 I_T$

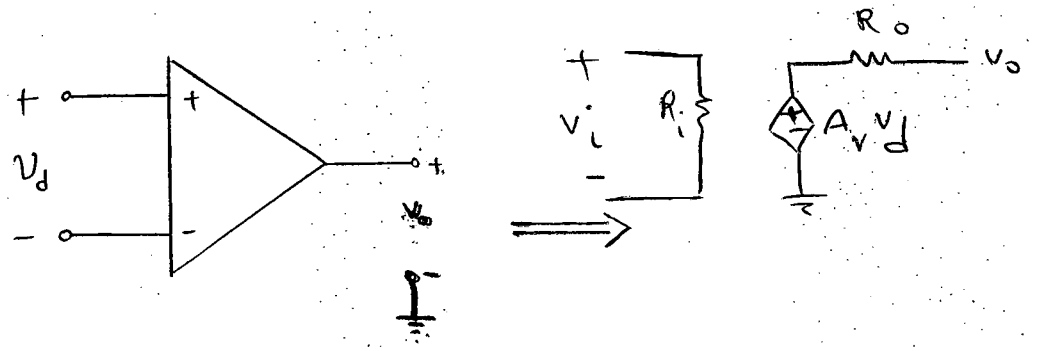
LearnElement.ir

تقویت کننده عملیاتی «Op. Amp» :

تقویت کننده عملیاتی نمادی است برای نمایش یک تقویت کننده ، بطوریکه مدارات داخلی تقویت کننده مورد بحث قرار نگیرد. در تحلیل تقویت کننده های عملیاتی تنها پارامترهای مقاومت ورودی ، مقاومت خروجی و بهره ولتاژ مورد نظر است.

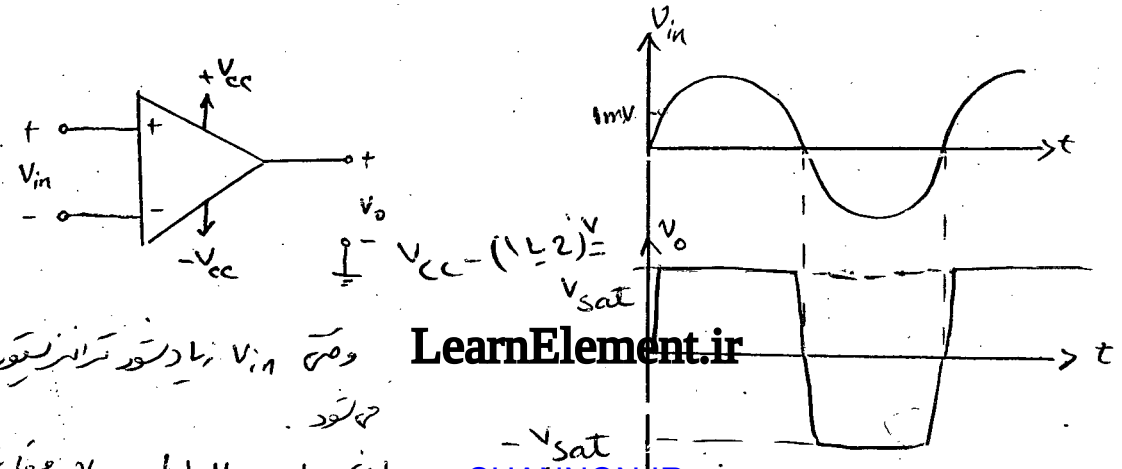


مدار معادل یک تقویت کننده عملیاتی به صورت زیر است :



در حالت ایده آل : $\begin{cases} R_i \to \infty \\ R_o \to 0 \\ A_v \to \infty \end{cases}$

مدار مقایسه کننده : اگر به یک تقویت کننده ی عملیاتی با بهره بالا یک ورودی سینوسی با سطح DC صفر اعمال کنیم خواهیم داشت



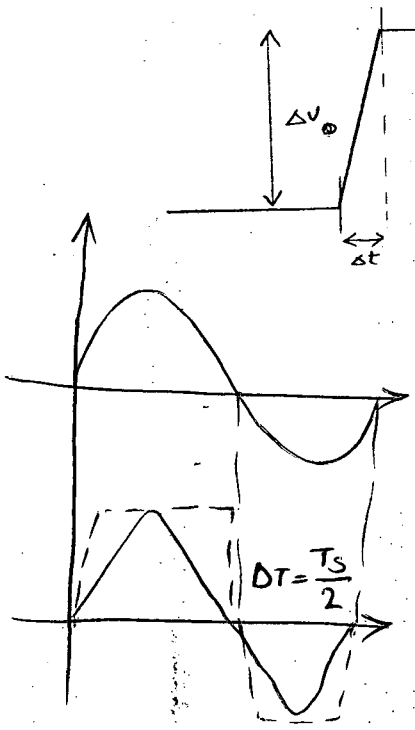
وقتی V_{in} زیاد شود ترانزیستورهای تقویت کننده اشباع می شوند.

LearnElement.ir

۱۱/

نرخ چرخش (Slew Rate) S.R : عبارات است از تغییرات ولتاژ خروجی یک تقویت کننده در واحد زمان، به عبارت دیگر S.R سرعت تغییر ولتاژ خروجی یک تقویت کننده را مشخص می کند

$$S_0R = \frac{\Delta V_0}{\Delta t} = \frac{dv_0}{dt}$$



اگر سرعت تقویت کننده نسبت سرعت ورودی (فرکانس ورودی) کمتر باشد تقویت کننده نمی تواند به خوبی ورودی را دنبال کند. در نتیجه شکل موج به شکل زیر می شود:

$$\Delta T = \frac{T_S}{2} = \frac{\Delta V_0}{S_0R} \rightsquigarrow f_S = \frac{S_0R}{2\Delta V_0} = \frac{S_0R}{2A(\Delta V_i)}$$

← حداکثر فرکانس ورودی ← برای شکل موج خروجی مربعی

$V_0 = V_m \sin \omega t \rightarrow S_0R = V_m \omega \cos \omega t \rightsquigarrow \omega V_m \cdot 2\pi f_S = S_0R$

$\rightarrow f_S = \frac{S_0R}{2\pi V_m}$ ← ورودی و خروجی صنوسی باشد

تقویت کننده: عملیاتی در مدیریت منفی

اگر یک op-Amp ایده آل در مدیریت منفی قرار گیرد (یعنی پایه خروجی به طریقی به پایه منفی ورودی وصل شده باشد) در این صورت دو قانون زیر برقرار خواهد بود:

۱/ به خاطر ایده آل بودن ($R_i = \infty$) جریان پایه های ورودی صفر است.

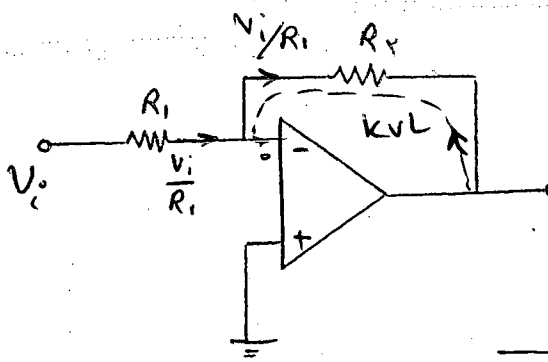
۲/ به خاطر مدیریت منفی پایه های ورودی هم ولتاژ هستند (اتصال کوتاه مجازی)

(نتایج مدارات آمده در صفحات بعدی را باید حفظ باشیم)

LearnElement.ir

www.bargh-arshad.com

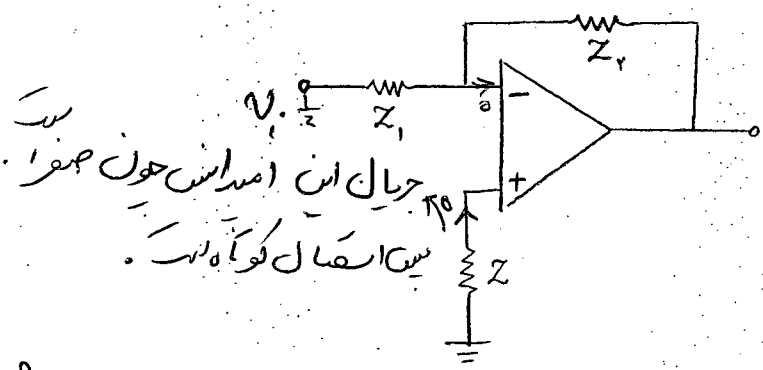
تقویت کننده‌ی معکوس کننده :



$$\rightarrow V_o/V_i = -\frac{R_2}{R_1}$$

این اختلاف فاز جریان و ولتاژ را که به همین دلیل به آن معکوس کننده می‌گویند.

در حالت کلی : درحالیکه امپدانس ورودی Z_1 و امپدانس فیدبک Z_2 داشته باشیم



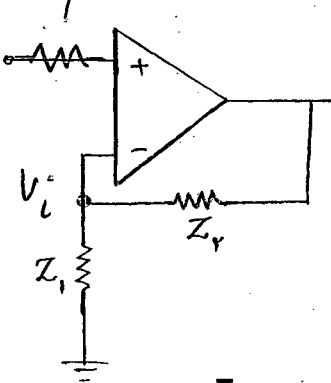
$$\Rightarrow \frac{V_o}{V_i} = -\frac{Z_2}{Z_1}$$

جریان این امپدانس چون صفر است بین اتصال کوتاه است.

نکته : اگر op-Amp ایده‌آل نباشد و داشته باشیم $Z = Z_1 \| Z_2$ باز جریان ورودی در خروجی ظاهر می‌شود.

تقویت کننده‌ی غیرمعکوس کننده

از این طرف هم مقاومت بود جون جریانش صفر است بی تاثیر است.



$$V_i = \frac{Z_1}{Z_1+Z_2}\cdot V_o$$

$$\rightarrow V_o = \frac{R_1+R_2}{R_1}\cdot V_i$$

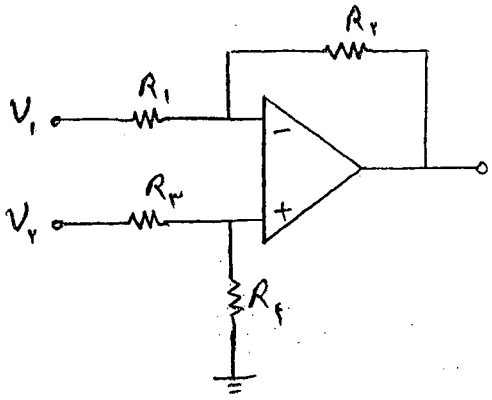
$$V_o = \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right) V_i$$

LearnElement.ir

if $R \rightarrow \infty$ $\rightarrow$ جریان صفر است $\rightarrow \frac{V_o}{V_i} = \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)$

تقویت کننده‌ی تفاضلی :

در حالت کلی در صورتیکه ورودی های V_1 و V_2 به تقویت کننده زیر اعمال شود

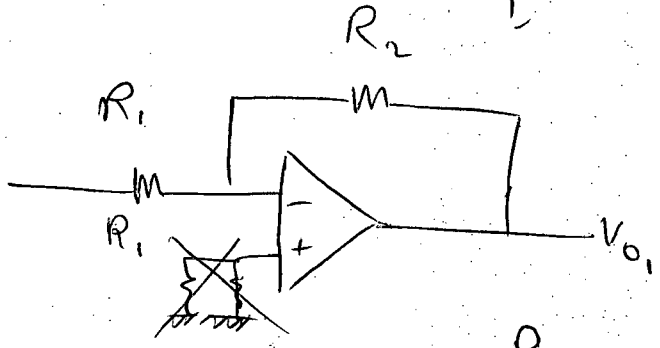


با توجه به قضیه جمع آثار خروجی را به صورت V_{o1} و V_{o2} خواهیم داشت :

تقویت کننده تفاضلی ترکیبی از مکلوس کننده و غیر معکوس کننده می باشد

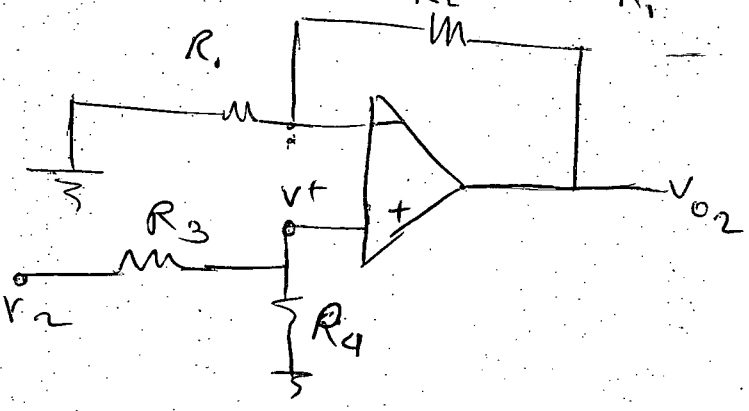
از جمع آثار استفاده می کنیم :

$V_2 = 0 \rightarrow V_o = V_{o1}$ ← معکوس کننده



$$V_{o1} = -\frac{R_2}{R_1} V_1$$

$V_1 = 0 \rightarrow V_o = V_{o2}$



$$V_{o2} = \left[\frac{R_1+R_2}{R_1}\right]\underbrace{\left[\frac{R_4}{R_3+R_4}\right]}_{V^+}$$

R_2 ← فاکتور

$$V_o = V_{o2} + V_{o1} = \left(\frac{R_1+R_2}{R_1}\right)\underbrace{\left(\frac{R_4}{R_3+R_4}\right)}_{\text{فاکتور } R_4} V_2 + \left(-\frac{R_2}{R_1}\right)V_1 = \quad (1)$$

$$= \frac{R_2}{R_1}\left(\frac{1+R_1/R_2}{1+\frac{R_3}{R_4}}\right)V_2 - \frac{R_2}{R_1}V_1 \xrightarrow{\text{حذلی}} \begin{cases} \text{if } \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \\ \text{یا} \\ \frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4} \end{cases}$$

(*)

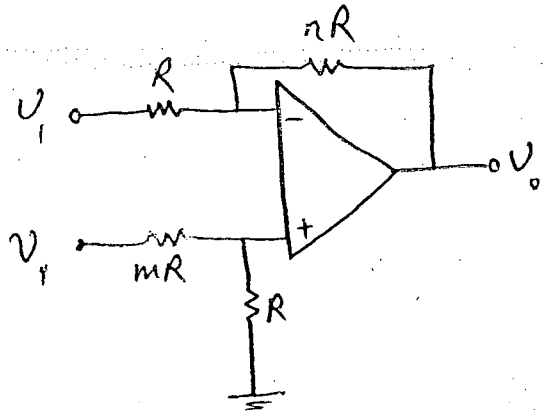
$$\rightarrow V_o = \frac{R_2}{R_1}\left[V_2 - V_1\right]$$

LearnElement.ir

معنی این شرط (*) برقرار باشد

www.bargh-arshad.com

برق-۸۶) در مدار شکل مقابل چه رابطه‌ای بین m و n برقرار باشد تا تقویت کننده به صورت تفاضلی باشد؟

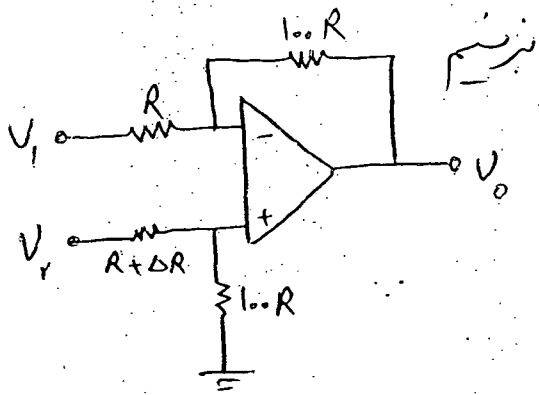


۱) $m=\frac{1}{n}$ ۲) $m=\frac{2}{n}$

۳) $m=2n$ ۴) $m=n$

$$\frac{R_1}{R_2}=\frac{R_3}{R_4} \Rightarrow \frac{R}{nR}=\frac{mR}{R} \rightarrow \boxed{\frac{1}{n}=m}$$

برق-۷۹) با استفاده از یک Op.Amp ایده‌آل در مدار زیر، اگر $\frac{\Delta R}{R}=0.1$ باشد، بهره‌ی حالت مشترک مدار، $A_c=\frac{V_o}{V_c}$ چقدر است؟ $(V_1=V_2=V_c)$



۱) ۰/۰۰۰۱ اول جمع برق را ای عام دهم بعد تقریب بزنیم.

۲) ۰/۰۰۱

۳) ۰/۰۱

۴) ۰/۱

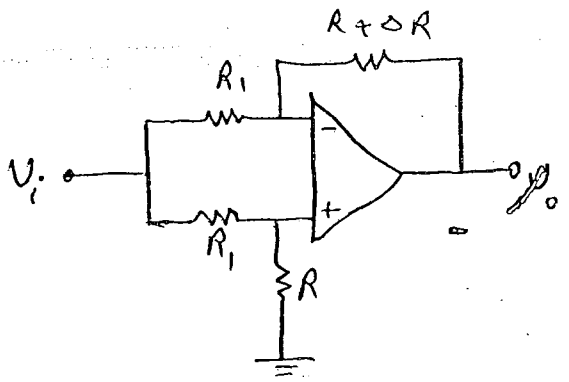
$$V_o=V_{o_1}+V_{o_2}=\underbrace{\left(\frac{100R}{101R+\Delta R}\right)\left(\frac{101R}{R}\right)}_{V_{o_2}}V_C-\frac{100R}{R}V_C$$

$$\frac{V_o}{V_C}=100\left[\frac{101R}{101R+\Delta R}-1\right]=100\left[\frac{101R-101R-\Delta R}{101R+\Delta R}\right]$$

$$\frac{V_o}{V_C}=-100\times\frac{\Delta R}{\underbrace{101R+\Delta R}_{\approx 101R}}=\frac{-100\times\Delta R}{101R}\simeq-\frac{\Delta R}{R}=0.1$$

LearnElement.ir

۴۵/ برق -۸۷) در مدار شکل زیر بهره ولتاژ $\frac{V_o}{V_i}$ کدام است؟



۱) $\frac{R+\Delta R}{R_1+R}$

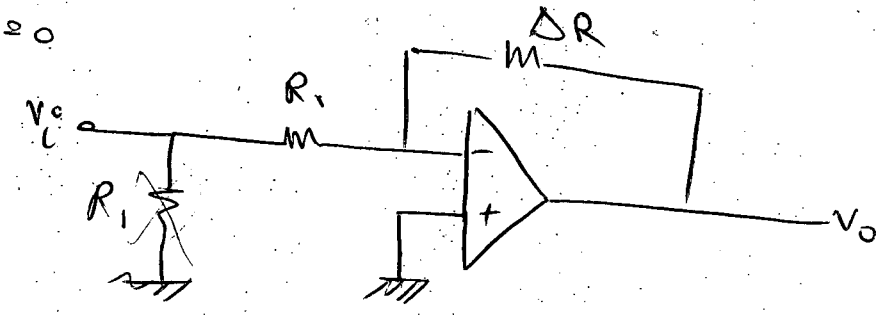
۲) $\frac{\Delta R}{2R_1+R}$

۳) $\frac{\Delta R}{R_1+R}$

۴) $\frac{R+\Delta R}{2R_1+R}$

اگر $\Delta R = 0$ شود ← مدار یک تقاضلی می‌شود و همان ورودی‌هایی است که فرض صفر می‌شود تا اینجا فقط گزینه‌های ۲ و ۳ جواب است.

if $R = 0$



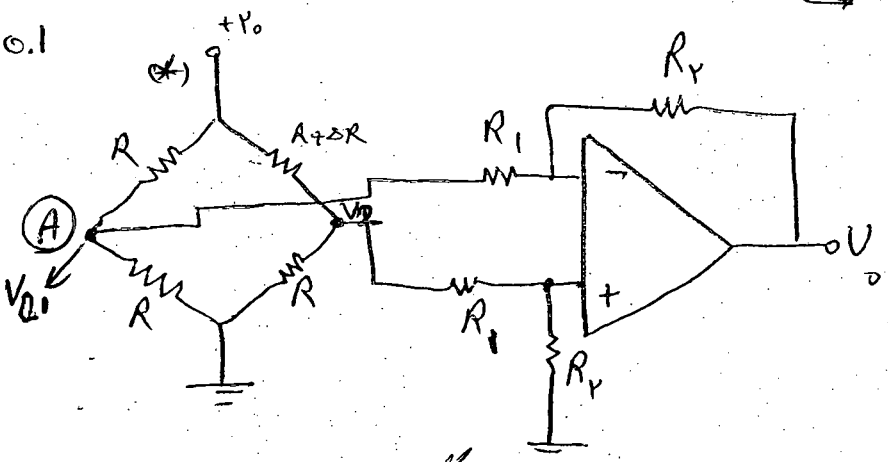
$$\frac{V_o}{V_i} = -\frac{\Delta R}{R_1} \rightarrow (\text{گزینه ۳})$$

LearnElement.ir

الکترونیک استاد باستانی تابستان (۱۳۹۰)

برق ۸۸) در مدار زیر مقاومت $R+\Delta R$ مدل یک سنسور حرارتی است که به ازاء هر درجه افزایش یا کاهش دما ۱۰ درصد تغییرات در مقاومت آن ایجاد می‌شود $(\frac{\Delta R}{R}=\%10)$. نسبت $\frac{R_2}{R_1}$ چقدر باشد تا به ازاء هر درجه تغییر دما، ولتاژ خروجی به اندازه‌ی یک ولت تغییر کند: $(R_1, R_2 \gg R)$ ← $V_o=1$

$\frac{\Delta R}{R}=0.1$



۱) $\frac{1}{\varepsilon}$

۲) $\frac{1}{2}$

۳) ۲

۴) ۴

دقت کنید R_1 و R_2 خیلی بزرگ است، می‌توان به سادگی از جریان عبوری از A صرف نظر کرد و ولتاژ نقطه‌ی A را در واقع همان ولتاژ خروجی مدار پایینی دانست که فقط به مقاومت‌های بالایی بستگی دارد

$$\frac{\Delta R}{R}=0.1 \begin{cases} V_1 = 10 \\ V_2 = 20 \times \dfrac{R}{2R+\Delta R} \end{cases}$$

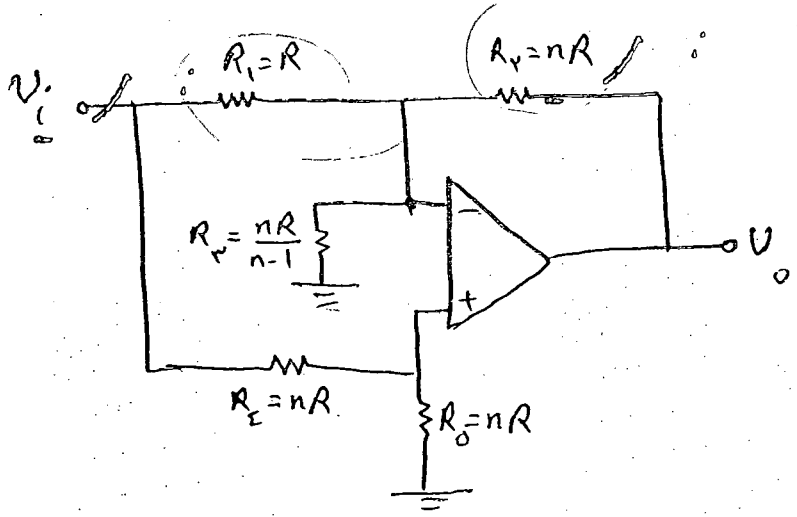
$$\rightsquigarrow V_o = \frac{R_2}{R_1}\left[V_2 - V_1\right]$$

$$= \frac{R_2}{R_1}\left[10 - \frac{20R}{2R+\Delta R}\right] = \frac{R_2}{R_1}\left[\frac{10\Delta R}{\underbrace{2R+\Delta R}_{\simeq 2R}}\right] \Rightarrow V_o = \frac{R_2}{R_1} \times \left[5\frac{\Delta R}{R}\right]$$

$$\xrightarrow{V_o=1} 1 = \frac{R_2}{R_1} \times 5 \times \frac{1}{10} \Rightarrow \boxed{\frac{R_2}{R_1}=2}$$

LearnElement.ir

برق - ۸۵) با فرض ایده‌آل بودن Op-Amp در مدار شکل زیر، ضریب بهرهٔ ولتاژ مدار برابر کدام یک از گزینه‌های زیر داده شده می‌باشد؟



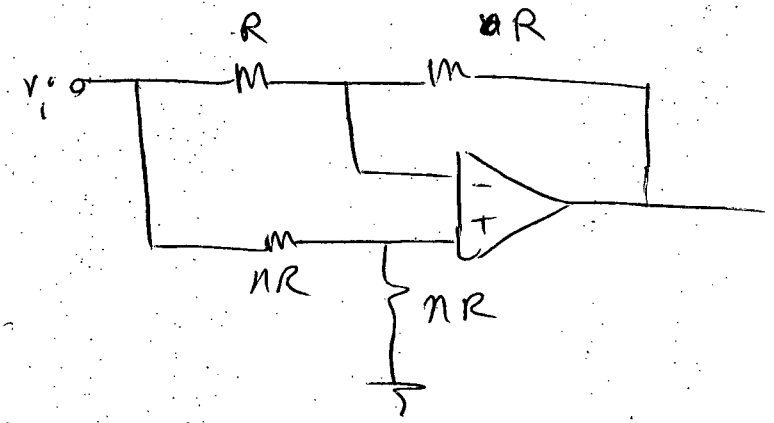
۱) $A_V=0$

۲) $A_V=-n$

۳) $A_V=n+1$

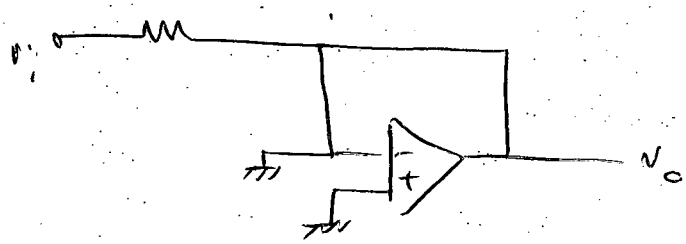
۴) $A_V=-n+1$

اگر R_3 شود مدار عین تقاضا می‌شد. این $n=1$ تا این مقاومت می‌خاصیت شود. یعنی



پس مدارای $n=1 \leftarrow A_V=0$

حال نه n با مقدار دیگر چک کنیم $n=0$



اینم نمیدارای $n=0$ هم $A_V=0$ می‌شود.

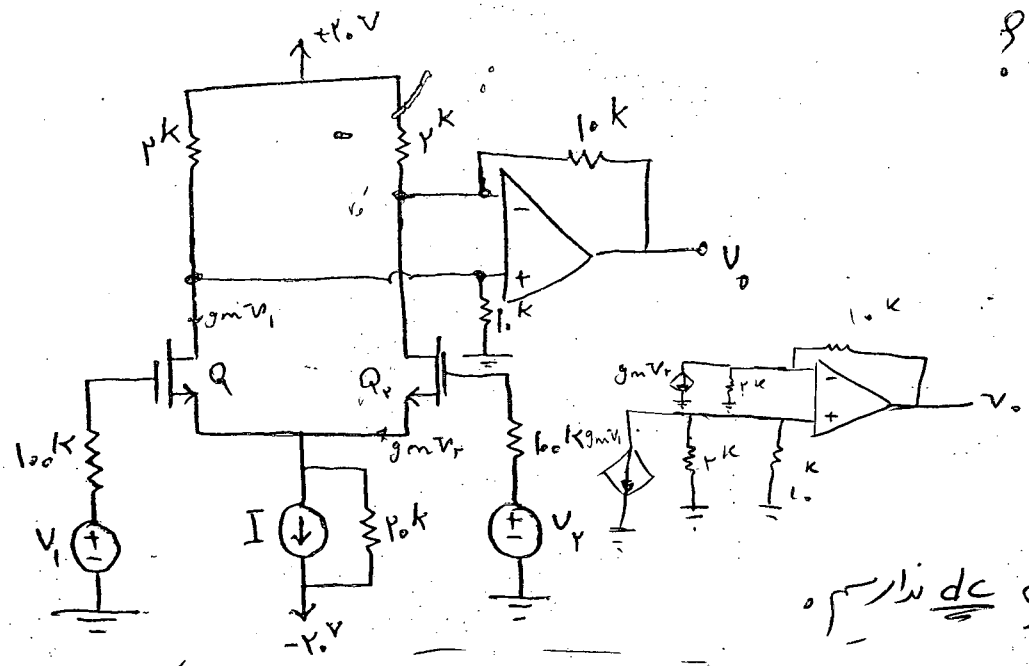
پس باید گزینه‌ای پیدا شود که در این دو شرط صدق نکند تیکه می‌زنیم گزینه ۱ پس مدار به ازای همه n ها برابر $A_V=0$ است

LearnElement.ir

www.bargh-arshad.com

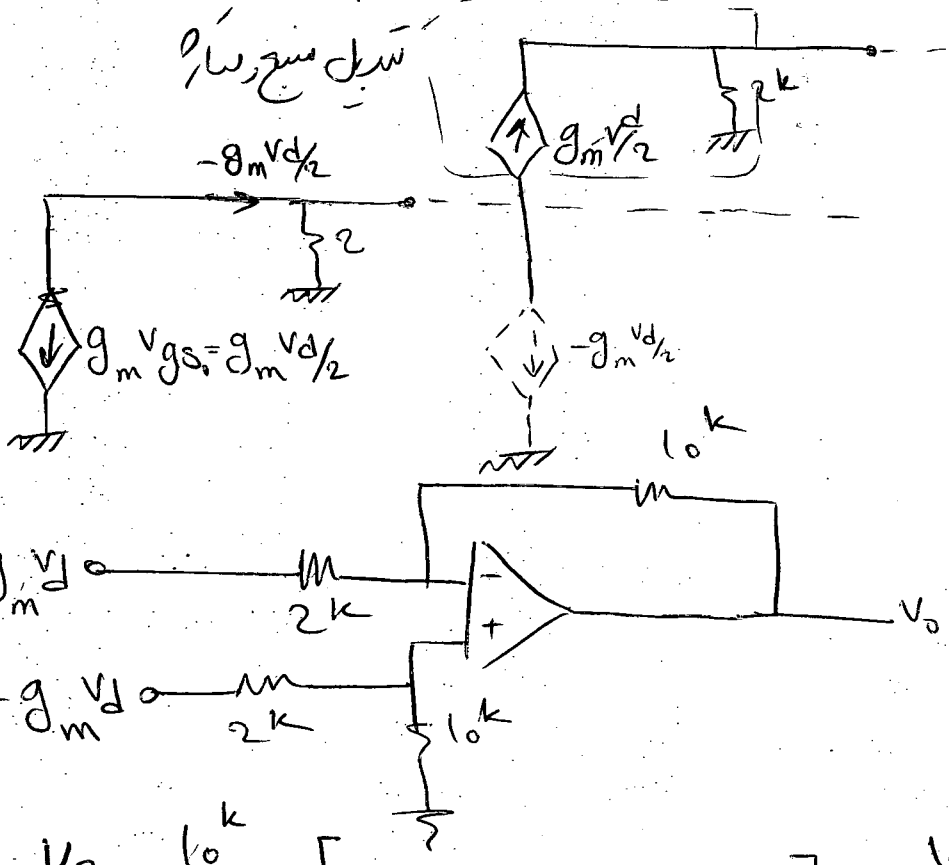
برق - ۷۹) در مدار مقابل Op-Amp ایدال می باشد. اگر پارامتر $g_m = 2\ \frac{mA}{V}$ می باشد، بهره دیفرانسیلی A_{dm} مدار چه خواهد بود؟

۱) ۲۰
۲) ۱۰
۳) ۵
۴) ۱



حون g_m داده شده نیازی به تحلیل dc نداریم.

تبدیل منبع وابسته



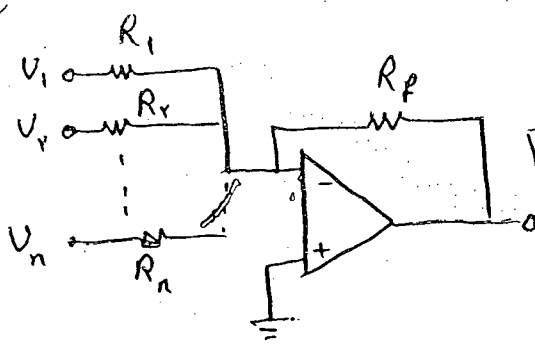
$$V_o = \frac{10^k}{2^k}\left[-g_m v_d - g_m v_d\right] = \frac{10}{2}\times(-g_m v_d)$$

$$\longrightarrow \frac{V_o}{V_d} = -10\,g_m = -20$$

LearnElement.ir

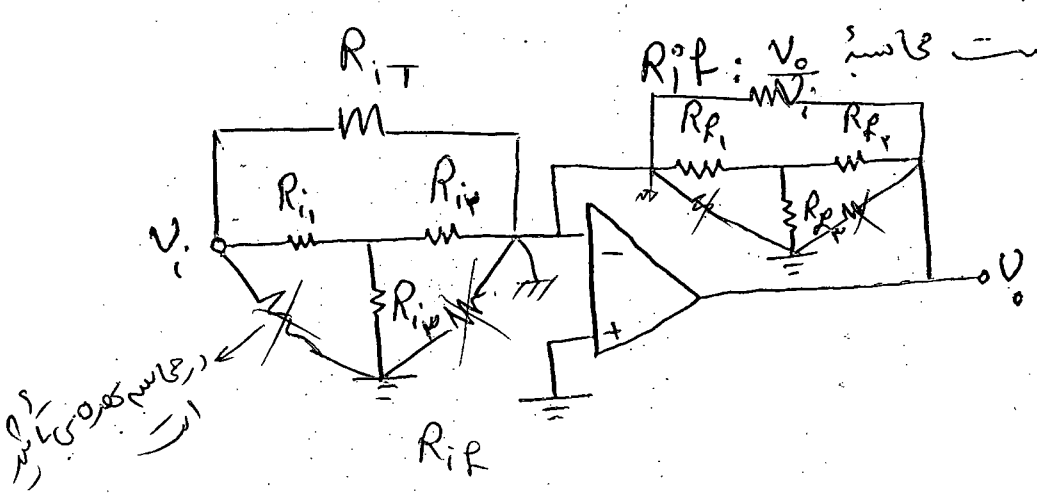
۹/

مدار جمع کننده :

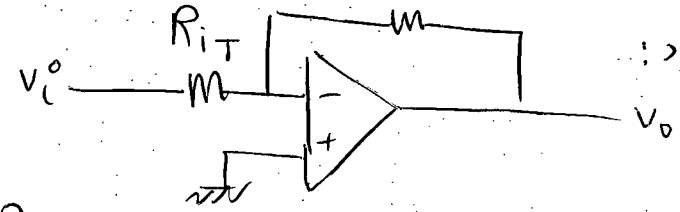


$$V_o = -R_f \left[\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \cdots \right]$$

مثال مهم : در مدار شکل زیر مطلوبست محاسبهٔ $R_{if} : \frac{V_o}{V_i}$



با توجه به تبدیل ستاره به مثلث مدار معادل زیر حاصل می‌شود :



$$R_{iT} = \frac{R_{i1}R_{i2} + R_{i2}R_{i3} + R_{i1}R_{i3}}{R_{i3}} = R_{i1} + R_{i2} + \frac{R_{i1}R_{i2}}{R_{i3}}$$

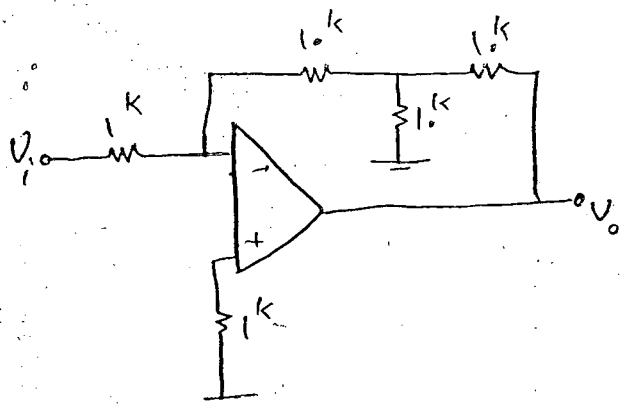
$$R_{fT} = R_{f1} + R_{f2} + \frac{R_{f1} \times R_{f2}}{R_{f3}}$$

LearnElement.ir

www.bargh_arshad.com

برق ـ ۸۵ آزاد

در مدار شکل زیر تقویت کننده عملیاتی ایده‌آل است. مقدار بهره ولتاژ $\left(A_v = \frac{V_o}{V_i}\right)$ در کدام گزینه به درستی گزارش شده است؟



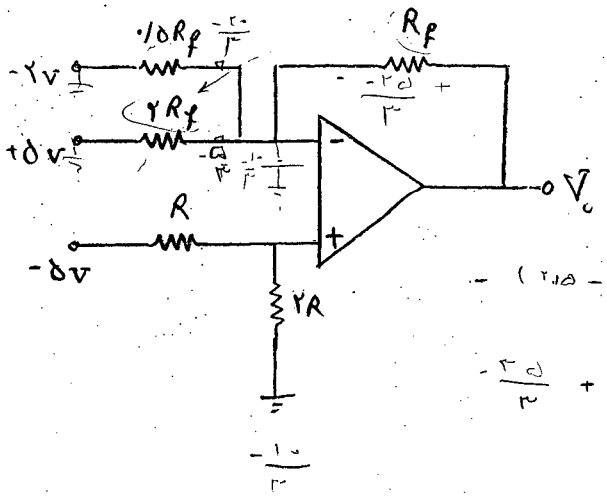
۱) ۲۰-
۲) ۳۰-
۳) ۱۵-
۴) ۱۰-

$R_{F_T} = 30$ ⇝ $\frac{V_o}{V_i} = -\frac{30}{1} = -30$

⇝ $\frac{V_o}{V_i}$

کاردانی به کارشناسی ـ ۸۹) در تقویت کننده‌ی شکل مقابل، مقدار تقریبی ولتاژ V_o چند ولت است؟

۱) ۱۵ ۲) ۱۰ ۳) ۱۵- ۴) ۱۰-



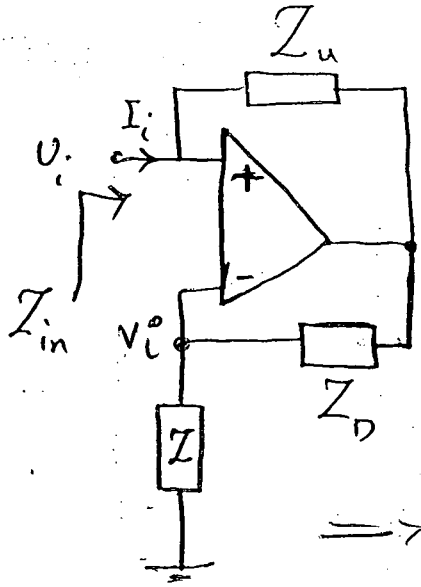
$-(2.5-4) = 1.5$

$-\frac{25}{3} + \frac{4}{2} = \frac{-75+9}{6} = -\frac{61}{6} = -10$

LearnElement.ir

نکته‌ی هم) مبدل امپدانس منفی :

در مدار زیر مطلوبست محاسبه‌ی امپدانس Z_{in} ، $\frac{V_o}{V_i}$

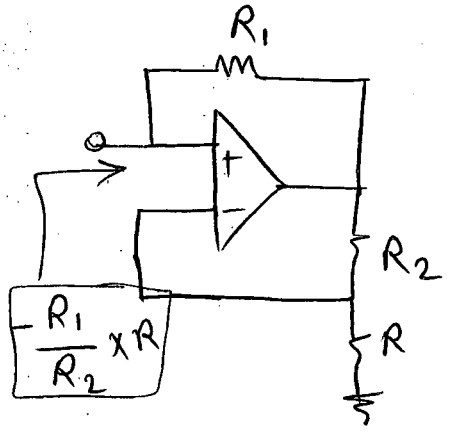


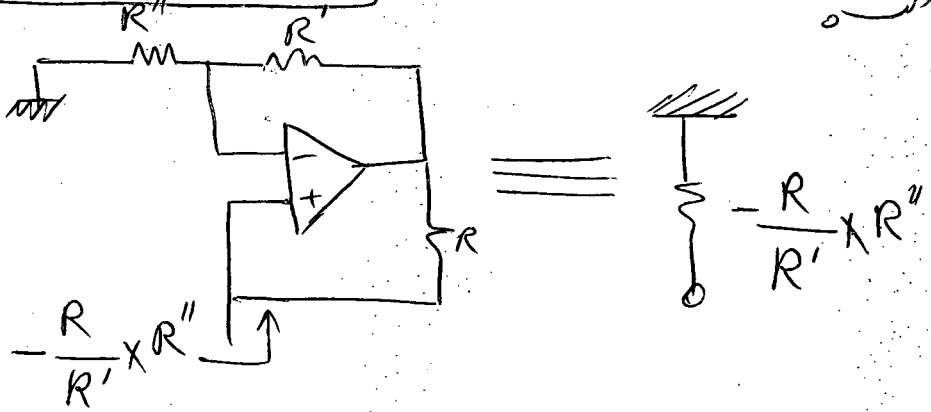
$$V_o = V_i\left[\frac{Z_D+Z}{Z}\right] = V_i\left[1+\frac{Z_D}{Z}\right]$$

$$I_i = \frac{V_i' - V_i\left[1+\frac{Z_D}{Z}\right]}{Z_u} \rightarrow \frac{V_i'}{I_i} = Z_{in}$$

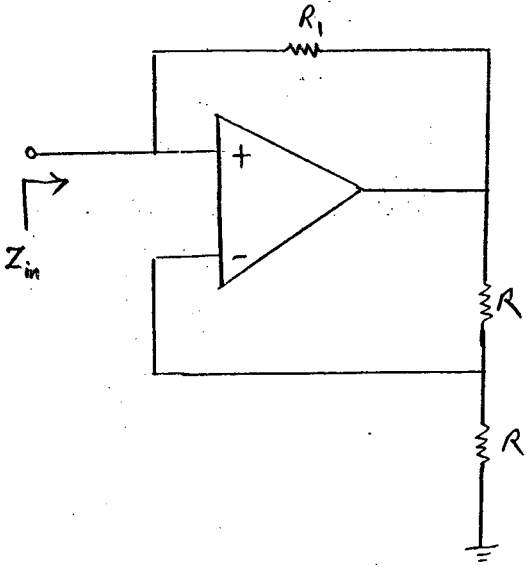
$$\Rightarrow \boxed{Z_{in} = -\left(\frac{Z_u}{Z_D}\right)Z}$$

این مدار در شکل های دیگری هم موجود است :





اتوماسیون ۹۰) در مدار مقابل امپدانس ورودی برابر است با :



$$Z_{in} = \frac{-R_1}{R}\times R = -R_1$$

۱) $-(R_1+R)$

۲) $-R_1$

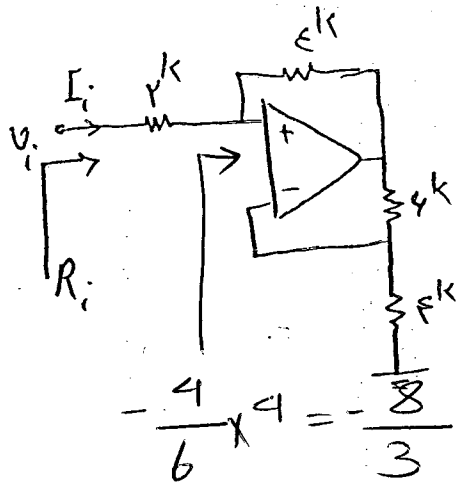
۳) $2R$

۴) R_1+2R

LearnElement.ir

www.bargh-arshad.com

کاردانی به کارشناسی - ۸۸ : با توجه به شکل مقابل، امپدانس ورودی R_i برحسب کیلواهم چقدر است؟ (سراسری)



$$\rightsquigarrow R_{i0} = 2 - \frac{8}{3}$$

$$= \frac{6-8}{3} = \boxed{\frac{-2}{3}}$$

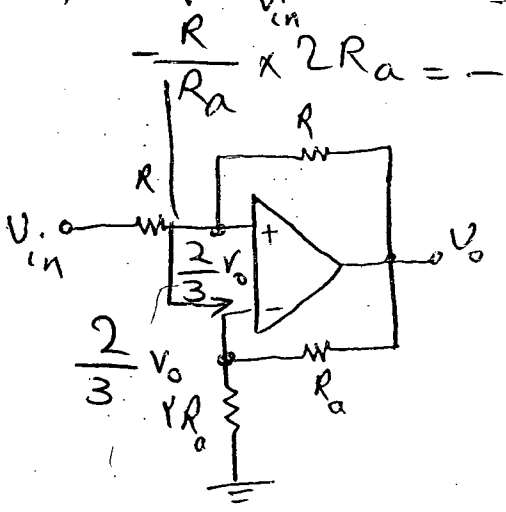
۱) $\frac{2}{3}$

۲) $-\frac{3}{2}$

۳) $\frac{3}{2}$

۴) $\boxed{-\frac{2}{3}}$

اتوماسیون - ۸۷) با فرض ایده‌آل بودن Op. Amp. بهره ولتاژ $A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$ به کدام گزینه نزدیک‌تر است؟

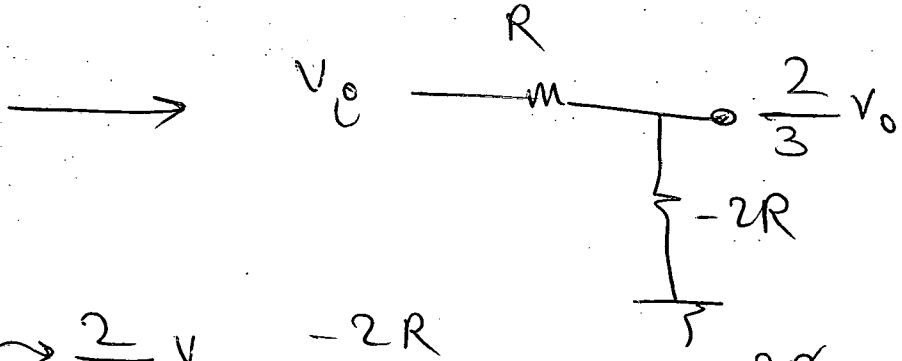


۱) $\frac{2R_a}{R}$

۲) $\frac{1}{3}$

۳) $\frac{2R}{R_a}$

۴) $\boxed{3}$



$$\rightsquigarrow \frac{2}{3}V_o = \frac{-2R}{-2R+R}V_o = \frac{+2R}{+R}V_o = 2V_i$$

$$\rightsquigarrow \frac{2}{3}V_o = 2V_i \rightsquigarrow \boxed{\frac{V_o}{V_i} = 3}$$

LearnElement.ir

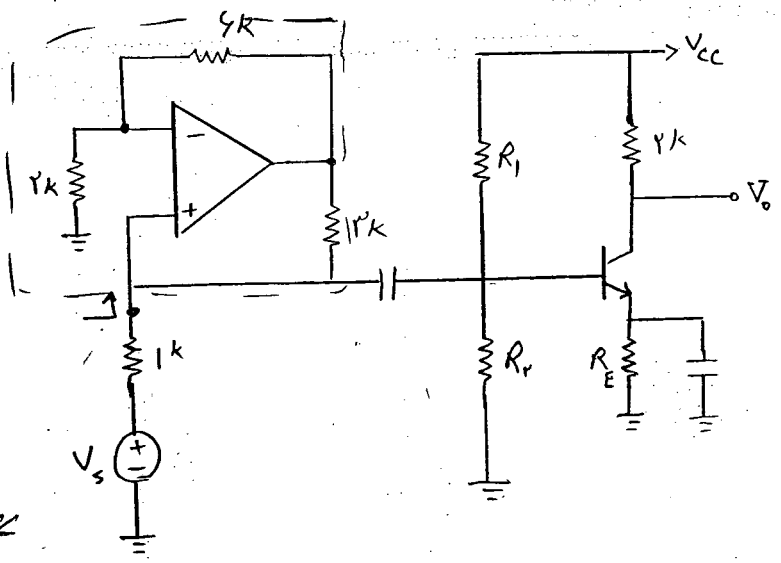
۱۵/ کاردانی به کارشناسی - ۸۶) در مدار زیر $\frac{V_o}{V_s}$ کدام است؟ $(R_1 \| R_2 \gg h_{ie} \ , \ h_{ie}=2.5k\Omega \ , \ \beta=100)$

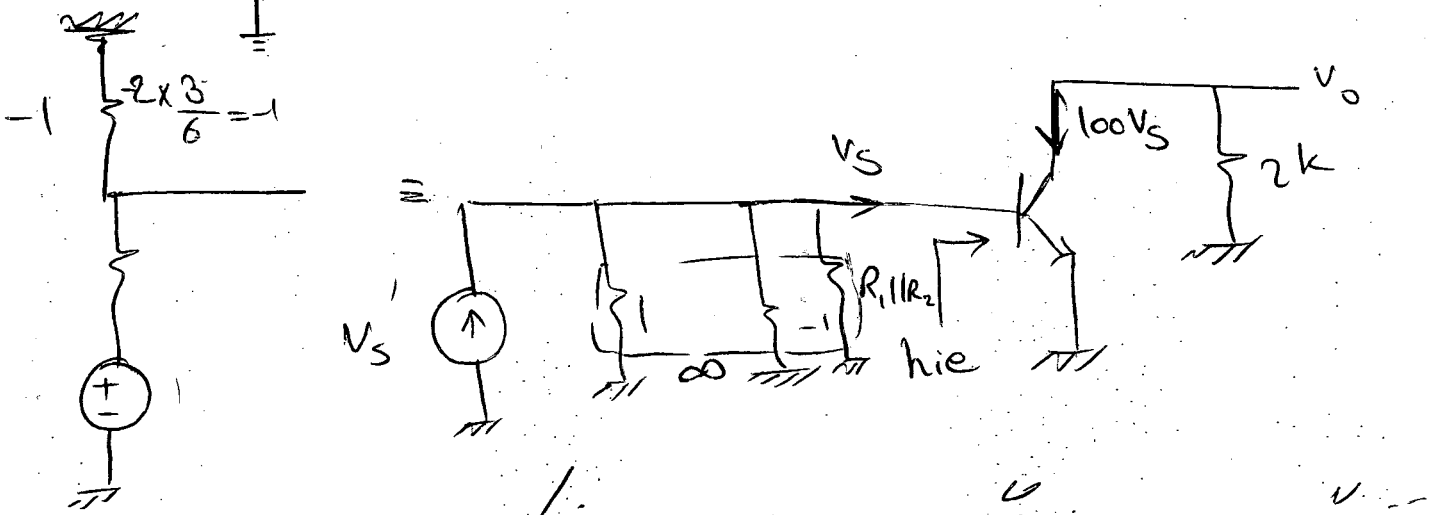
۱) -۴۰۰

۲) -۲۰۰

۳) -۱۰۰

۴) -۱۰





دقت کنید که $R_1 \| R_2$ عملاً برابر است یعنی جریان عبور نمی‌کند.

$$V_o = -2 \times 100 V_s \rightarrow \boxed{\frac{V_o}{V_s} = -200}$$

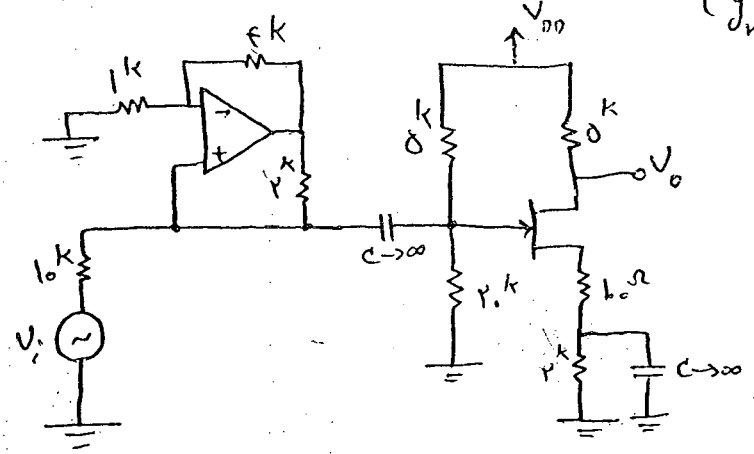
LearnElement.ir

www.bargh-arshad.com

۵۴/

۸۲- (برق ۰) در مدار زیر بهره ولتاژ $\frac{V_o}{V_i}$ به کدام یک از گزینه‌های زیر نزدیک‌تر است؟

(Op.Amp ایده‌آل فرض شود ($g_m = 10 \frac{mA}{V}$

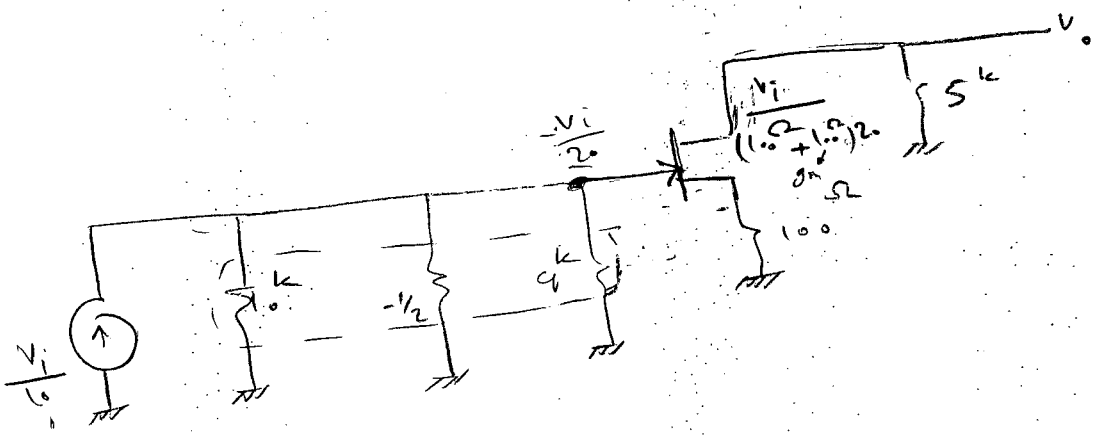


$A_v = 3$

$A_v = 1.5$

$A_v = 25$

$A_v = 5$



$$\frac{1}{R} = \frac{1}{4} - 2 + \frac{1}{10} = \frac{5 - 40 + 2}{20} = \frac{-37}{20} \rightarrow R = \frac{-1}{2}$$

$$\frac{V_i}{4} \times 5 = V_o$$

$$\rightarrow \frac{V_o}{V_i} = 1.25 \simeq 1.5$$

LearnElement.ir

۵۵

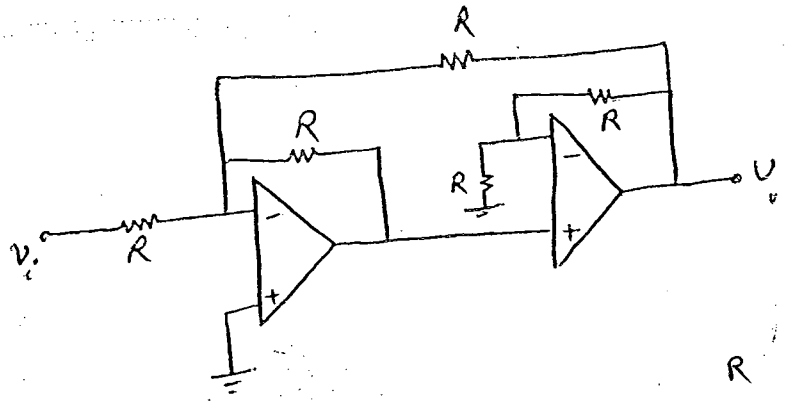
برق - ۸۱) بهره ولتاژ $\frac{V_o}{V_i}$ در مدار روبرو کدام است؟

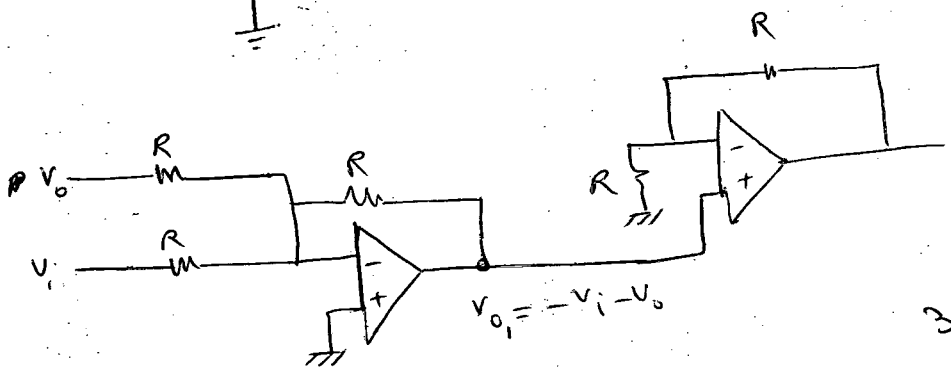
۱) $-\frac{۲}{۳}$

۲) -۱

۳) $-\frac{۳}{۲}$

۴) -۲





$V_o = (1+\frac{R}{R})V_{o_1}$

$V_o = 2(-(V_i + V_{o_1}))$

$3V_o = -2V_i$

$\rightsquigarrow \frac{V_o}{V_i} = \frac{-2}{3}$

برق - ۸۲) در مدار داده شده، بهره ولتاژ $A_v = \frac{V_o}{V_i}$ چقدر است؟ V_i با $V_o' - 180^\circ$ اختلاف زاویه دارد.

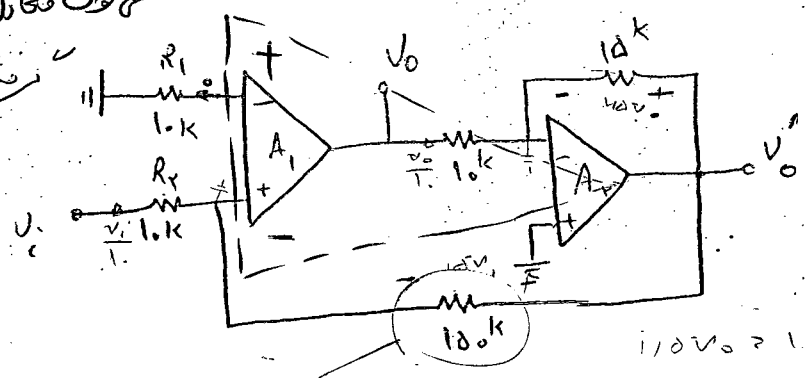
op-Amp توان فعال یک

۱) ۱۵

۲) ۱۰

۳) ۱٫۵

۴) -۱۵



$1.5V_o = 15V_i$

$\frac{V_o}{V_i} = 10$

$V_o' = -\frac{150^k}{10^k} V_i'$

$V_o' = -\frac{15^k}{10} \times V_o$

$\Rightarrow -15V_i = -1.5V_o$

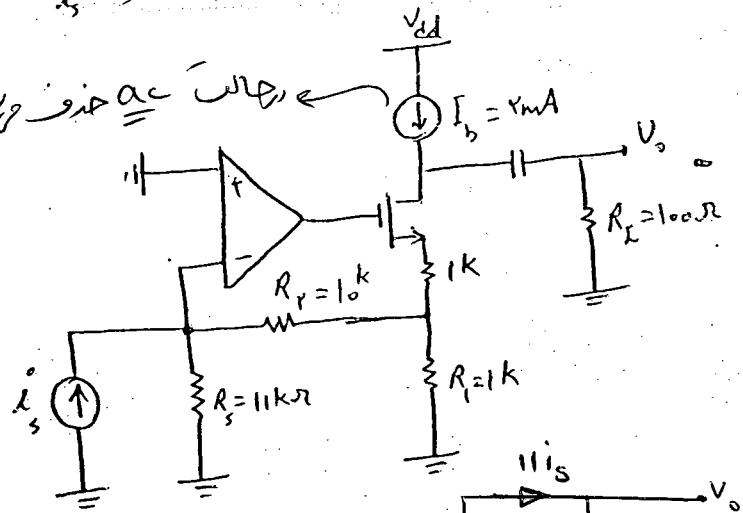
$\rightarrow \frac{V_o}{V_i} = +10$

LearnElement.ir

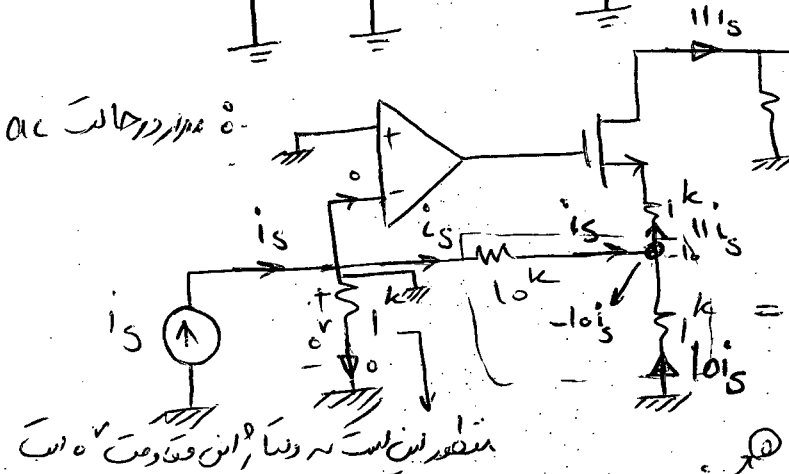
www.bargharshad.com

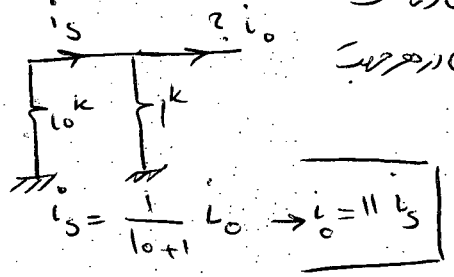
برق ۸۵) در مدار شکل مقابل با فرض آنکه تقویت کننده عملیاتی ایده‌آل باشد مقدار $\frac{V_o}{i_s}$ چقدر می‌باشد؟

۱) $+550\,\Omega$
۲) $-550\,\Omega$
۳) $+1100\,\Omega$
۴) $-1100\,\Omega$



$\frac{V_o}{i_s} = 1.1k\Omega = 1100\,\Omega$



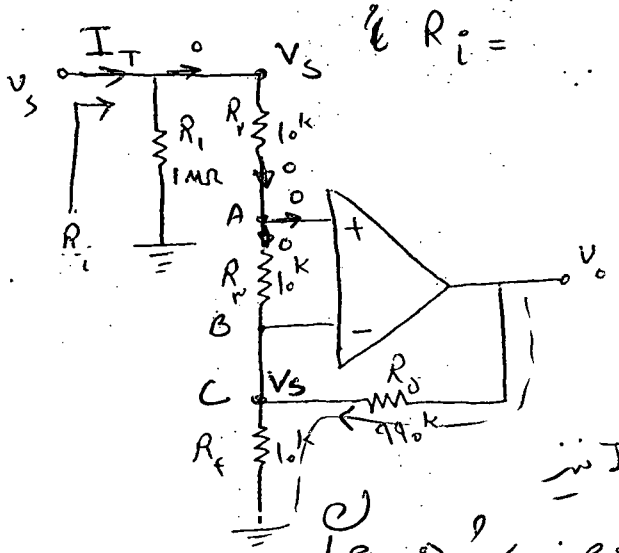


$i_s = \frac{1}{10+1} i_o \rightarrow i_o = 11 i_s$

$V_R = R \cdot i$ ②

برق ۸۴) در صورتیکه آپ امپ ایده‌آل فرض شود. مقاومت ورودی (مقاومتی که V_s می‌بیند) و بهره ولتاژ $\left(A_{V_s} = \frac{V_o}{V_s}\right)$ چه مقدار است؟

$V_A = V_B \rightarrow I_{R_3} = 0$



$R_i =$

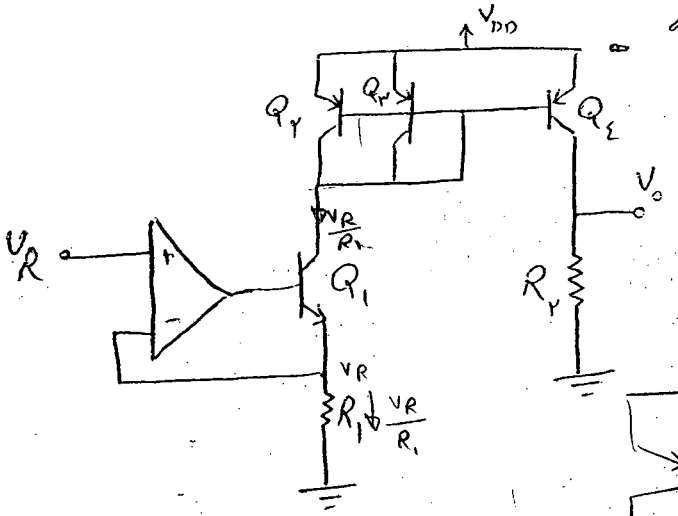
۱) $R_i = 1\,M\Omega$ ، $A_{V_s} = 33$
۲) $R_i = 1\,M\Omega$ ، $A_{V_s} = 100$
۳) $R_i = 20k\Omega$ ، $A_{V_s} = 33$
۴) $R_i = 20k\Omega$ ، $A_{V_s} = 100$

جریان ایده‌های op-Amp صفر است، I_{R_3} نیز ثابت شده صفر است. پس جریان مقاومت R_2 هم صفر می‌شود و همه جریان از R_1 عبور می‌کند. از طرف دیگر هیچ مقاومت‌های R_2 و R_3 جریان صفر دارند و ولتاژشان هم صفر است پس V_s به نقطه C منتقل می‌شود:

$V_o = \frac{V_s}{10} \times (990+10) = 100 V_s \rightarrow R_i = \frac{V_s}{I_T} = 1\,M\Omega$

LearnElement.ir

برق - ۸۶) در مدار شکل مقابل با فرض شباهت ترانزیستورهای pnp و خیلی بزرگ بودن β همهٔ ترانزیستورها ($V_A \to \infty$) دامنهٔ خروجی برابر کدام است؟

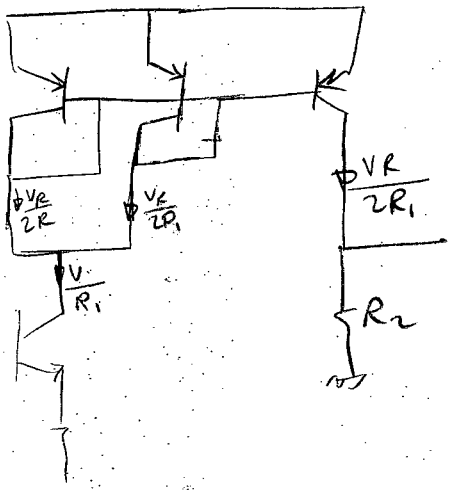


۱) $V_R \frac{R_1}{2R_2}$

۲) $V_R \frac{R_2}{2R_1}$

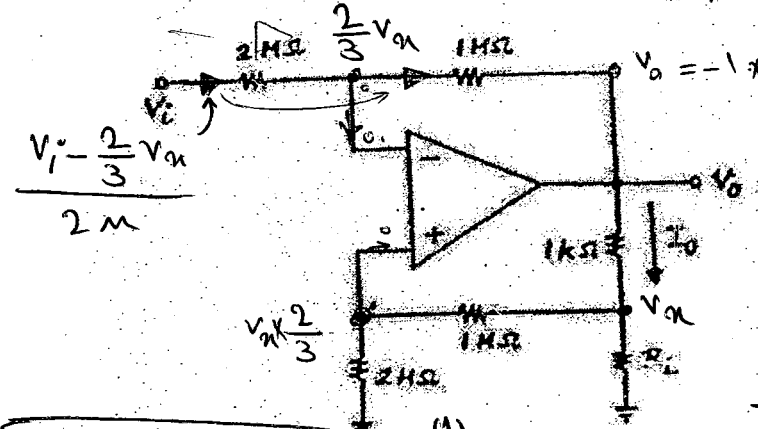
۳) $V_R \frac{2R_1}{R_2}$

۴) $V_R \frac{2R_2}{R_1}$



$$V_o = \frac{V_R}{2R_1} \times R_2 =$$

مهندسی برق - ۸۹) در مدار مقابل رابطهٔ I_o و V_i بر حسب $\frac{mA}{V}$ کدام است؟



$$\frac{V_i - \frac{2}{3}V_x}{2M}$$

$$V_o = -1 \times \frac{V_i - 2V_x}{2M} + \frac{2}{3}V_x$$

۱) $-\frac{2V_i}{5}$

۲) $\frac{V_i}{2}$

۳) $-\frac{2V_i}{4}$

۴) $\frac{V_i}{2}$

$$\rightarrow V_o = \frac{2}{3}V_x + \frac{1}{3}V_x - \frac{1}{2}V_i \quad (2)$$

$$\rightarrow V_o = V_x - \frac{1}{2}V_i \quad (3)$$

$$I_o = \frac{V_o - V_x}{1} = V_o - V_x \quad (1)$$

(1), (2) $\rightarrow$ $I_o = (V_x - \frac{1}{2}V_i) - V_x$

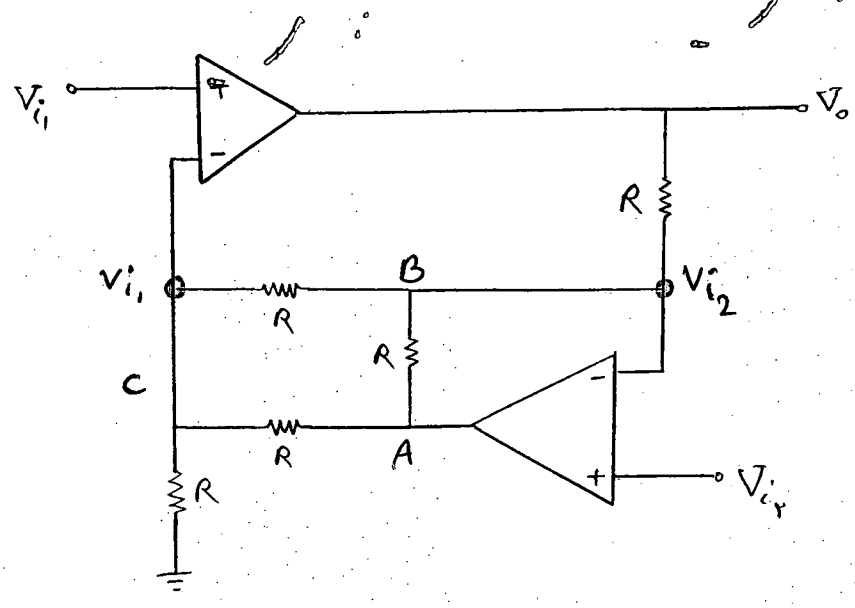
$$I_o = -\frac{1}{2}V_i$$

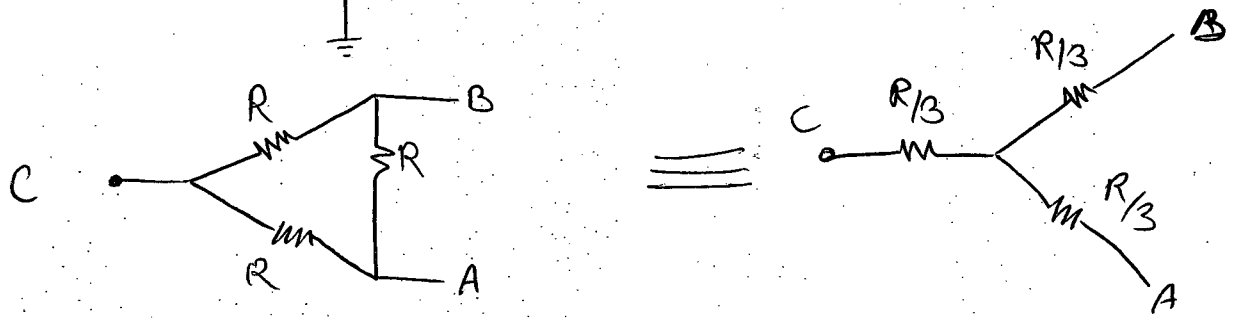
LearnElement.ir

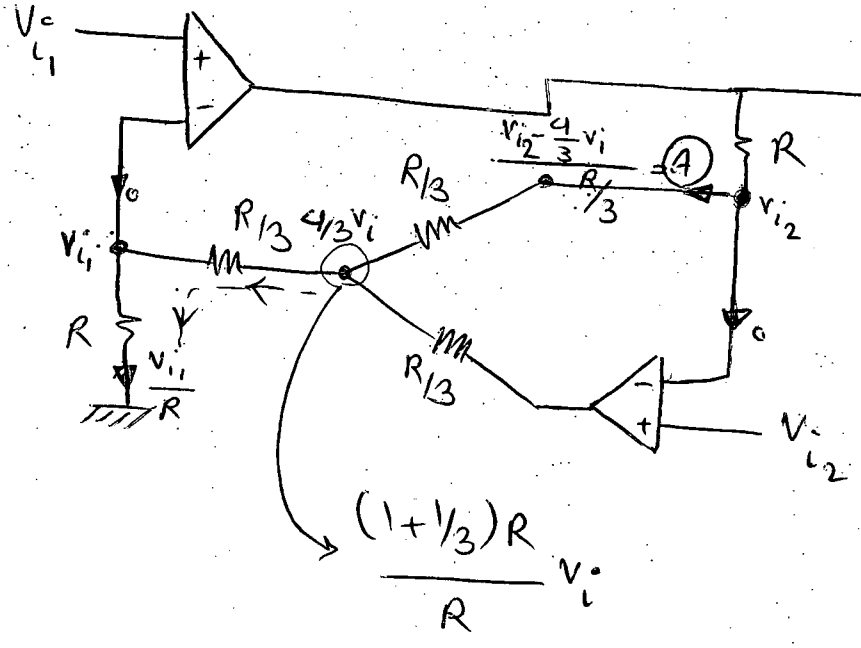
۱۵۸/ الکترونیک استاد رعنا نرگس‌تبار

در مقابل Op.Amp های ایده‌آل هستند بهره $\frac{V_o}{V_{i_1} - V_{i_2}}$ کدام است؟

۱) ۱
۲) ۲
۳) $\frac{1}{2}$
۴) ۴







$$A = \frac{3V_{i_2} - 4V_{i_1}}{R}$$

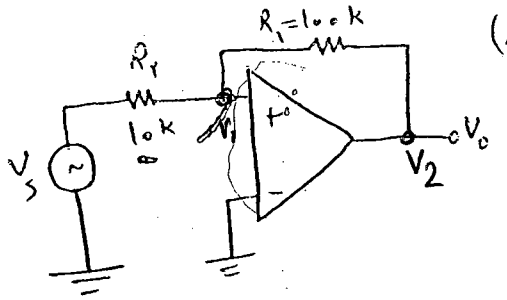
$$V_o = R\left[\frac{3V_{i_2} - 4V_{i_1}}{R}\right] + V_{i_2} = 4V_{i_2} - 4V_{i_1}$$

$$= 4\left[V_{i_2} - V_{i_1}\right]$$

LearnElement.ir

برق-۸۴) بهره ولتاژ $A_{V_s}=\frac{V_o}{V_s}$ در مدار مقابل چقدر است؟

(مشخصات تقویت کننده: $A_v=10$ ، $R_i\to\infty$ ، $R_o\to 0$)



۱) ۴٫۷۶

۲) ۱۰

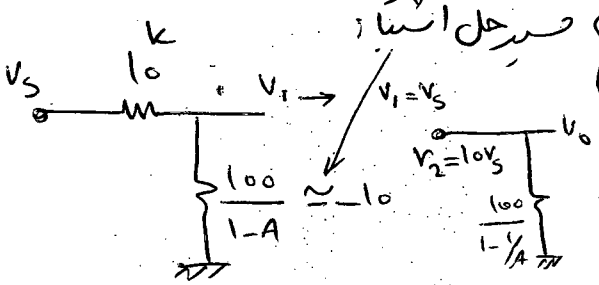
۳) ۱۰۰

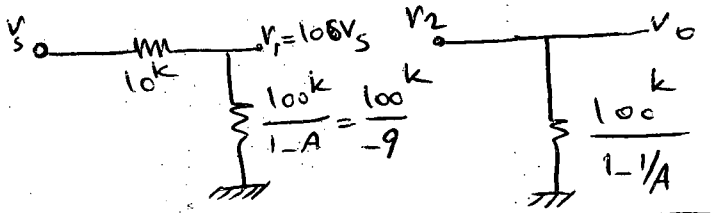
۴) چون فیدبک مثبت است تقویت کننده ناپایدار بوده، برای آن بهره تعریف نشده است.

فیدبک منفی $\frac{-R_2}{R_1}$ برای وقتی بود که بهره تقویت Av بی نهایت بود.

$A_V=\frac{V_2}{V_1}\neq 10$

حل استاد:





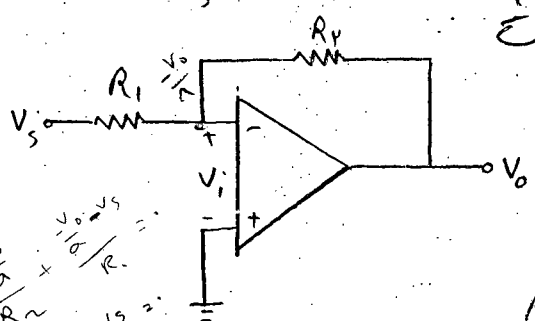
$\to V_1=\frac{-100/9}{10-\frac{100}{9}}V_s=\frac{-100}{90-100}V_s=+10\,V_s$

$V_o=10V_s\to$ در صورتی که استاد آن را نداده است نباید تقریب بزنیم.

$\left.\begin{matrix}\frac{V_1}{V_s}=+10\\ \frac{V_2}{V_1}=+10\end{matrix}\right\}\frac{V_1}{V_s}\times\frac{V_2}{V_1}\times\frac{V_o}{V_2}=\frac{V_o}{V_s}=10\times 10=100$

کاردانی به کارشناسی-۸۹) در تقویت کننده شکل مقابل، اگر $\frac{V_o}{V_i}=-a$ و $\frac{R_2}{R_1}=b$ باشد، $\frac{V_o}{V_s}$ برحسب a و b کدام است؟

یعنی ایده‌آل هست



۱) $\frac{-ab}{a+b+1}$

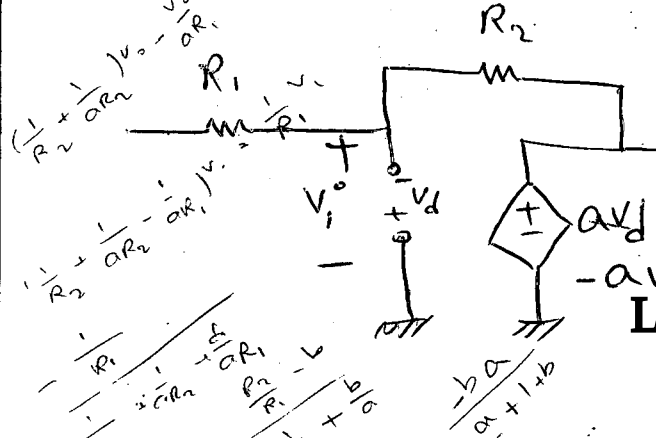
۲) $\frac{ab}{a+b+1}$

۳) $\frac{-b}{a+b+1}$

۴) $\frac{-a}{a+b+1}$

$A_V=\frac{V_o}{\text{پایه منفی - پایه مثبت}}=\frac{V_o}{-V_i}=\frac{-V_o}{V_i}$

$A_V=-\left(\frac{V_o}{V_i}\right)=-(-a)=+a$



$a\to\infty\Rightarrow\frac{V_o}{V_s}=\frac{-R_2}{R_1}=-b$

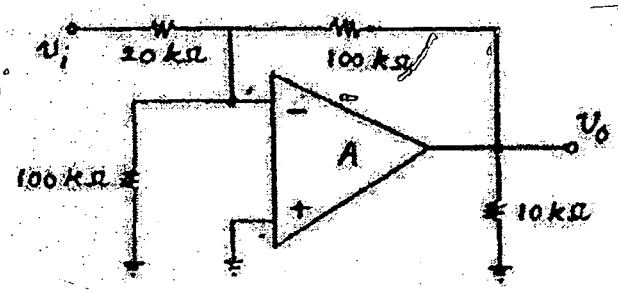
گزینه‌ها را برای $a=\infty$ بررسی می‌کنیم.

باید بی‌نهایت شود $\frac{V_o}{V_i}$

LearnElement.ir

۲۰

(برق - ۸۹) بهره‌ی ولتاژ در تقویت‌کننده‌ی شکل مقابل کدام است؟ (تقویت‌کننده‌ی عملیاتی از هر نظر ایده‌آل است جز اینکه بهره‌ی آن محدود و برابر ۱۰۰ می‌باشد.) $A=100 , R_i=\infty , R_o=0$

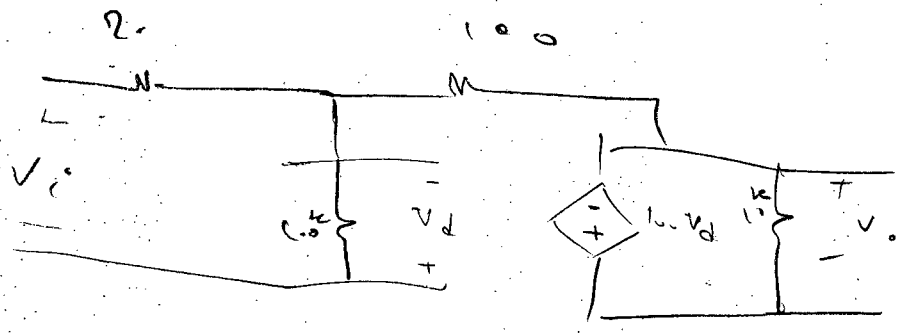


۱) -۵/۰۵

۲) -۴/۶۵

۳) -۵/۲۵

۴) -۴/۹۵

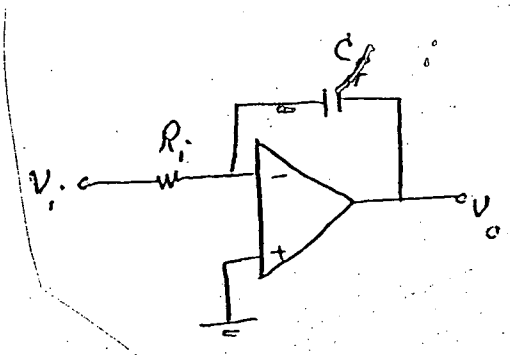


LearnElement.ir

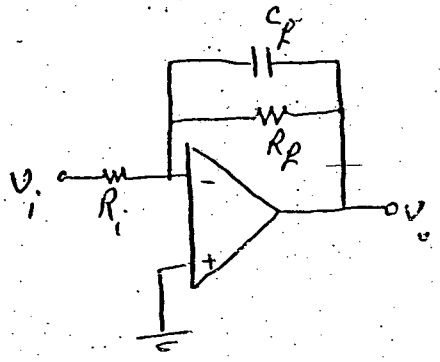
۱۶

طراحی فیلتر با استفاده از Op. Amp : از روی نمک نخواهیم بیاسم بیدیم

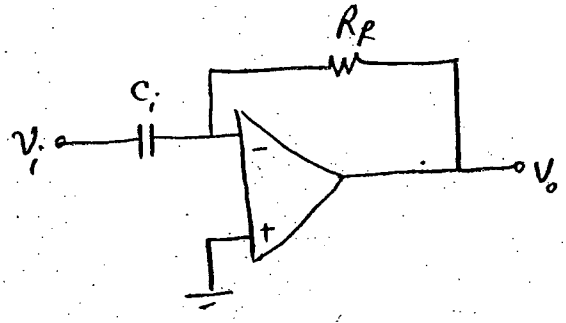
۱) مدار انتگرال گیر :



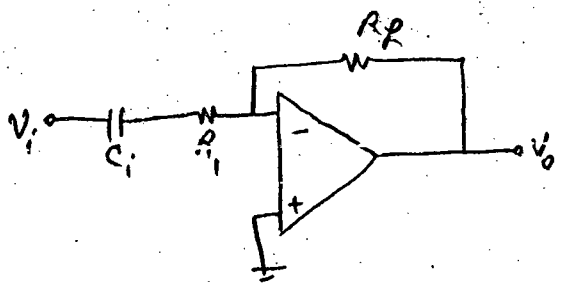
۲) فیلتر پایین گذر :



مدار مشتق گیر :



مدار فیلتر بالاگذر :

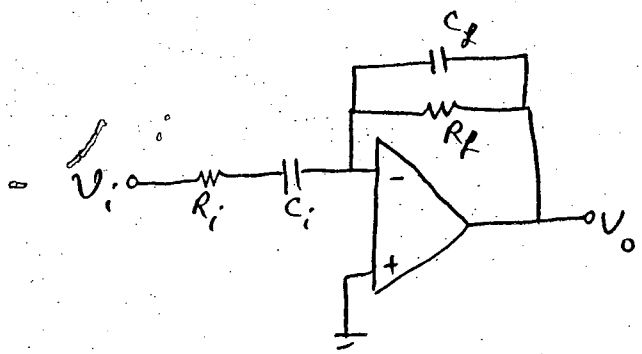


LearnElement.ir

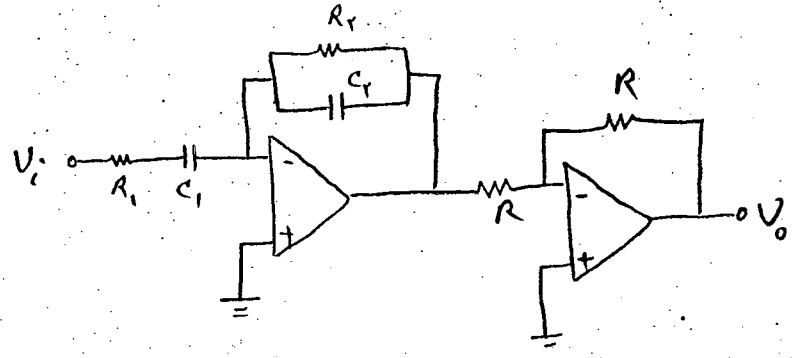
www.bargh-arshad.com

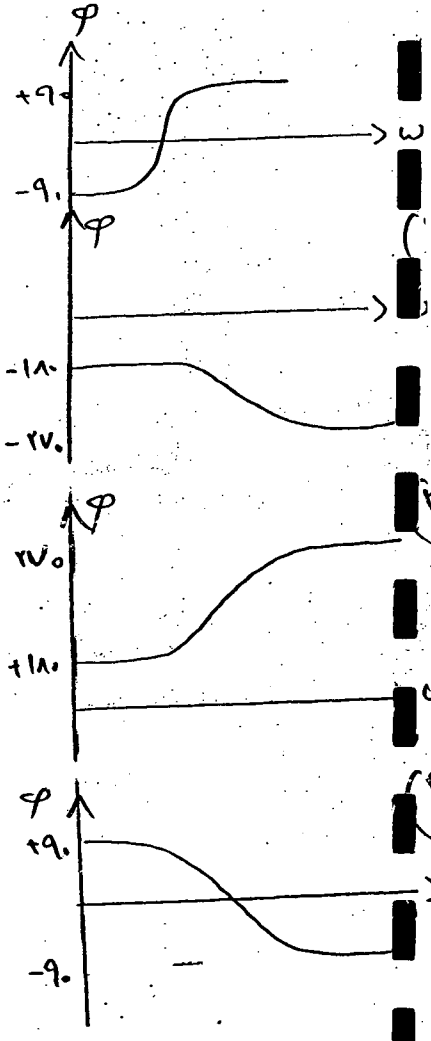
۷۳

۸) فیلتر میان گذر و میان نگذر :



انی به کارشناسی ـ ۸۹) در تقویت کننده شکل مقابل، منحنی تغییرات نماز $\frac{V_o}{V_i}$ با تغییر ω کدام است؟

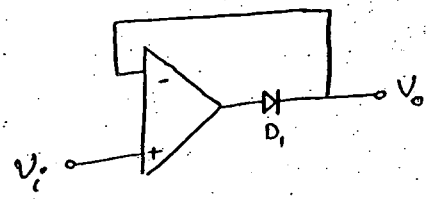




LearnElement.ir

کاربرد Op.Amp در مدارات دیودی :

- دیود ایده آل :



اگر ورودی V_i به صورت یک موج سینوسی باشد

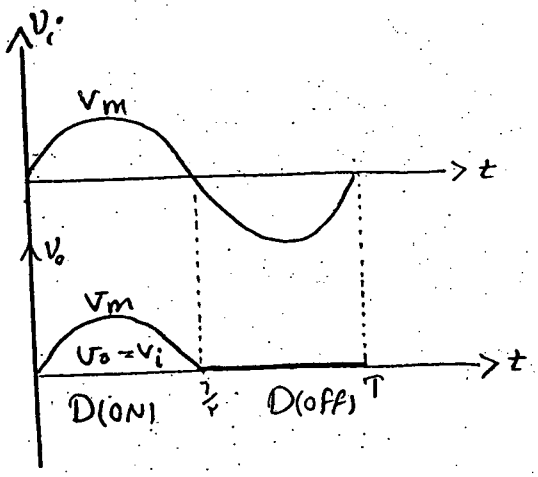
درحالتی که ورودی مثبت باشد ولتاژ پایه مثبت Op.Amp

از پایه منفی آن بیشتر شده بنابراین خروجی Op.Amp دارای

ولتاژ بسیار زیاد مثبت می شود بنابراین دیود D_1 روشن

شده و فیدبک منفی برقرار می شود لذا : $V_o = V_i$

خواهد بود.



درحالتیکه ورودی منفی باشد ولتاژ پایه مثبت از پایه منفی آن

کمتر شده، بنابراین خروجی Op.Amp دارای ولتاژ بسیار زیاد منفی

شده و دیود D_1 خاموش شده و رابطه ورودی و خروجی قطع می شود [فیدبک منفی برقرار نیست $V_o = 0$]

توجه : در تحلیل مسائل تقویت کننده هایی عملیاتی که در آن دیود بکار رفته است ابتدا وضعیت هر Op.Amp را از لحاظ برقرار بودن فیدبک منفی یا برقرار نبودن آن بررسی می کنیم :

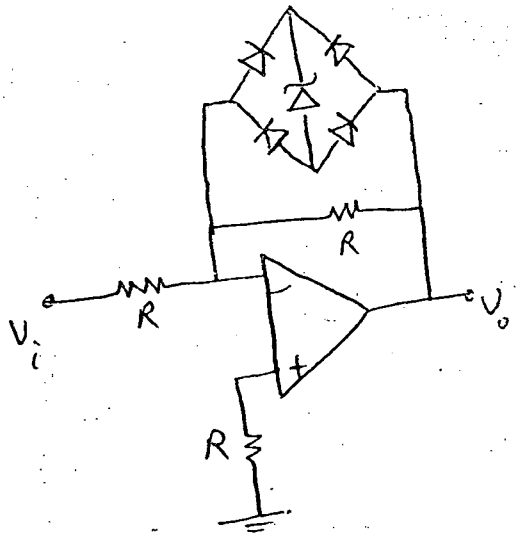
- اگر ولتاژ پایه مثبت از پایه منفی بیشتر باشد، خروجی Op.Amp را بینهایت مثبت ($+\infty$) فرض می کنیم

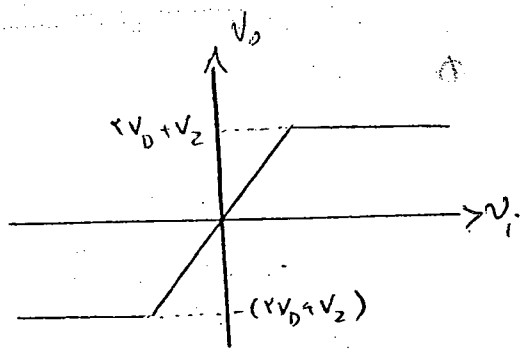
- اگر ولتاژ پایه مثبت از پایه منفی کمتر باشد، خروجی Op.Amp را بینهایت منفی ($-\infty$) فرض می کنیم

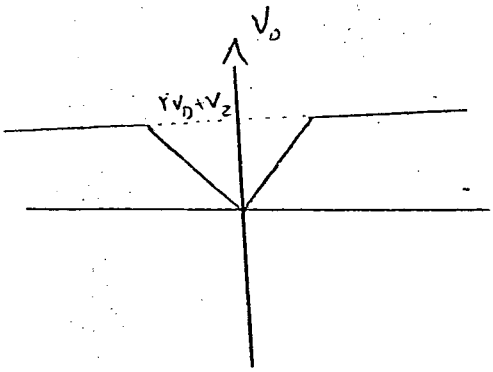
LearnElement.ir

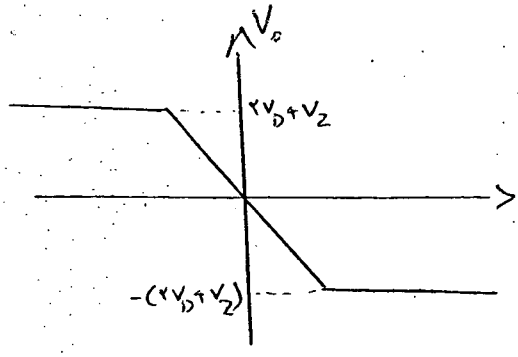
www.bargh-arshad.com

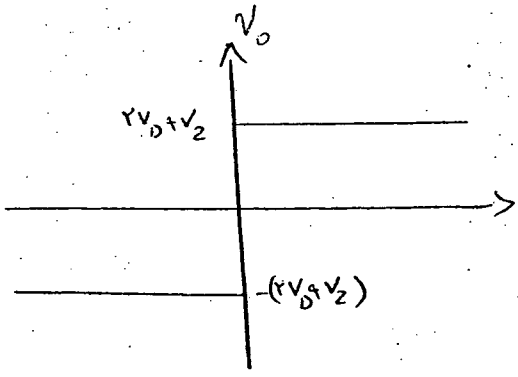
برق - ۸۵) مشخصه انتقالی V_o به V_i مدار روبرو کدام است؟ (ولتاژ زنر V_Z و افت ولتاژ دیودها در بایاس مستقیم V_D است)



۱)


۲)


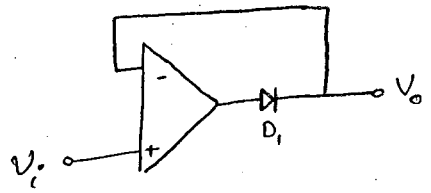
۳)


۴)


LearnElement.ir

کاربرد Op.Amp در مدارات دیودی :

- دیود ایده آل :



اگر ورودی V_i به صورت یک موج سینوسی باشد

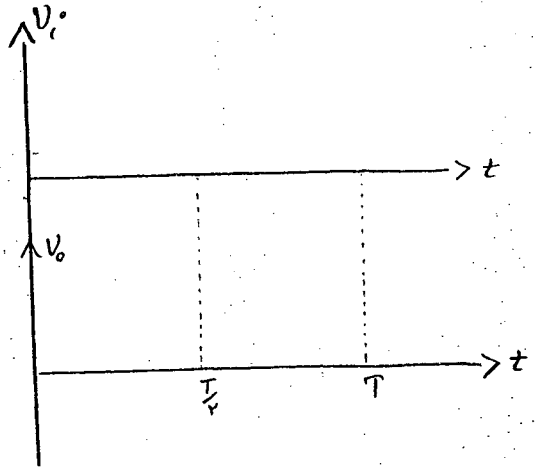
درحالتی که ورودی مثبت باشد ولتاژ پایه مثبت Op.Amp

از پایه منفی آن بیشتر شده بنابراین خروجی Op.Amp دارای

ولتاژ بسیار زیاد مثبت می شود بنابراین دیود D_1 روشن

شده و فیدبک منفی برقرار می شود لذا : $V_o = V_i$

خواهد بود .



درحالتیکه ورودی منفی باشد ولتاژ پایه مثبت از پایه منفی آن

کمتر شده، بنابراین خروجی Op.Amp دارای ولتاژ بسیار زیاد منفی

شده و دیود D_1 خاموش شده و رابطه ورودی و خروجی قطع می شود [فیدبک منفی برقرار نیست $V_o = 0$]

توجه : در تحلیل سائل تقویت کننده های عملیاتی که در آن دیود بکار رفته است ابتدا وضعیت هر Op.Amp را لحاظ

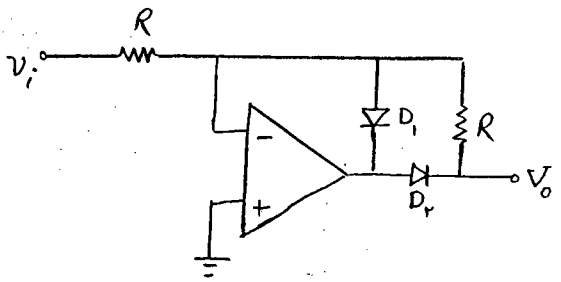
برقرار بودن فیدبک منفی یا برقرار نبودن آن بررسی می کنیم :

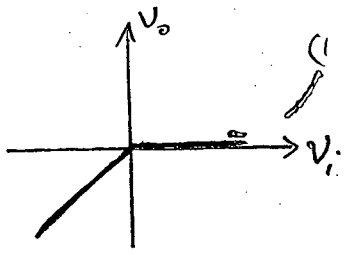
- اگر ولتاژ پایه مثبت از پایه منفی بیشتر باشد ، خروجی Op.Amp را بینهایت مثبت ($+\infty$) فرض می کنیم

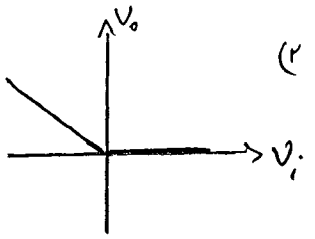
- اگر ولتاژ پایه مثبت از پایه منفی کمتر باشد، خروجی Op.Amp را بینهایت منفی ($-\infty$) فرض می کنیم

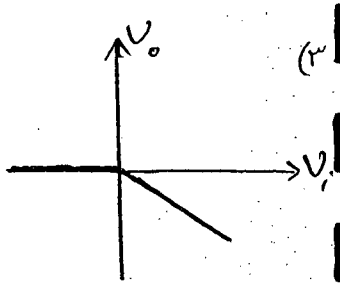
LearnElement.ir

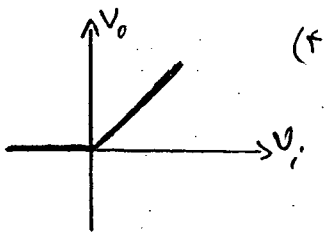
(سراسری ۸۴-) مشخصه انتقالی مدار زیر کدام است؟ ($v_o = f(v_i)$)



۱)


۲)


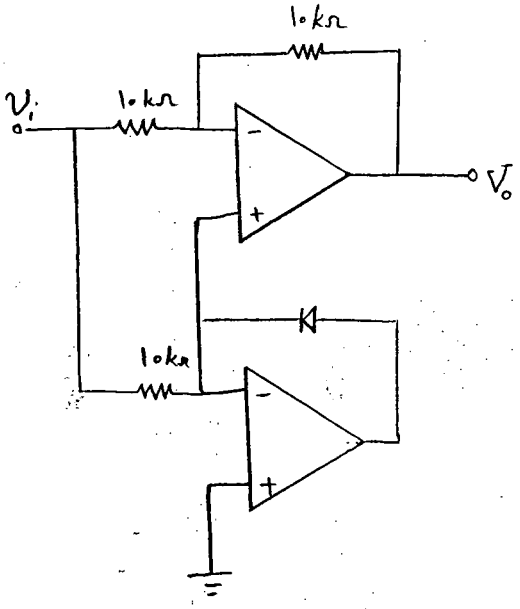
۳)


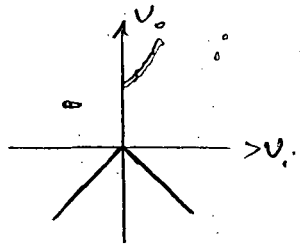
۴)


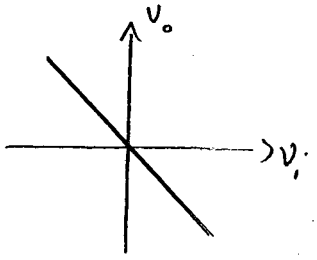
LearnElement.ir

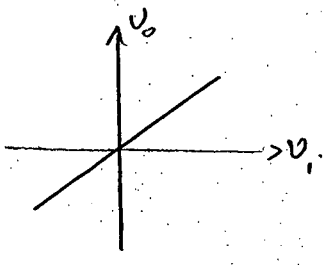
www.barqh-arshad.com

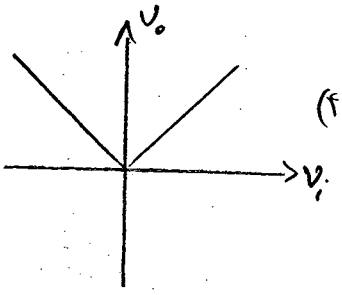
۱۷/ (آزاد - ۸۶) در تقویت کننده‌ی شکل زیر، مشخصه‌ی انتقالی v_o برحسب v_i کدام است؟
آزاد - ۸۲



۱) 

۲) 

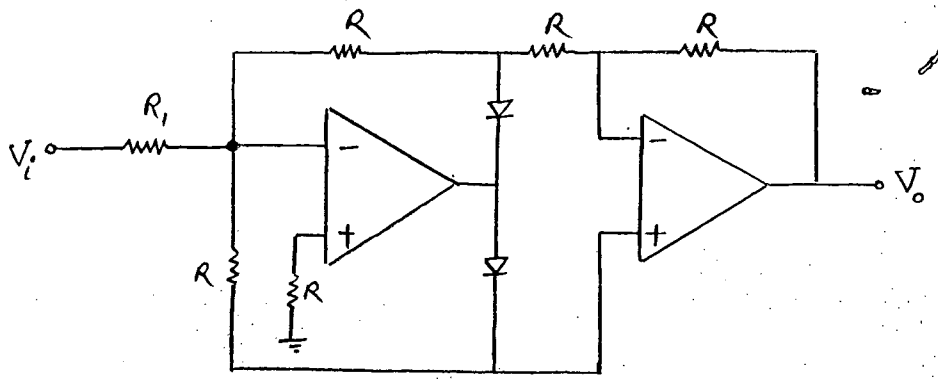
۳) 

۴) 

LearnElement.ir

مرور الکترونیک استاد بهستانی (تابستان ۱۳۹۰)

(سراسری - ۸۶) با توجه به مدار شکل زیر، به ازای $V_i \geq 0$ رابطه V_o با V_i کدام است؟



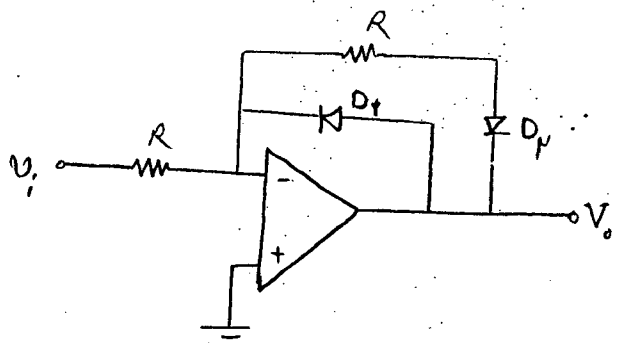
۱) $\frac{R}{R_1} V_i$

۲) $-\frac{R}{R_1} V_i$

۳) $\frac{R}{2R_1} V_i$

۴) $-\frac{R}{2R_1} V_i$

(سراسری - ۸۷) در تقویت کننده شکل مقابل، شیب مشخصه انتقالی V_o برحسب V_i به ازای $V_i \leq 0$ کدام است؟

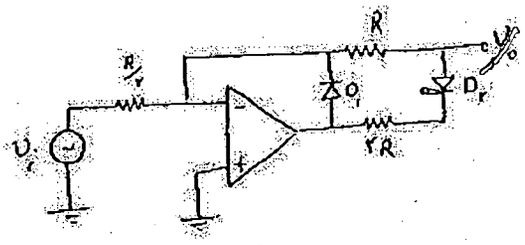


۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۱- ۴) ۰

LearnElement.ir

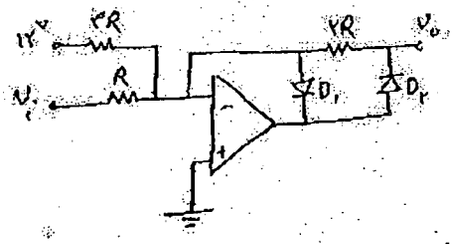
۶۹

کاردانی به کارشناسی - ۸۸) با توجه به شکل مقابل به ازای $V_i > 0$ شیب مشخصه انتقالی ولتاژ کدام است؟ (دیودها ایده‌آل‌اند)



۱) ۶-
۲) ۴-
۳) ۲-
۴) ۱-

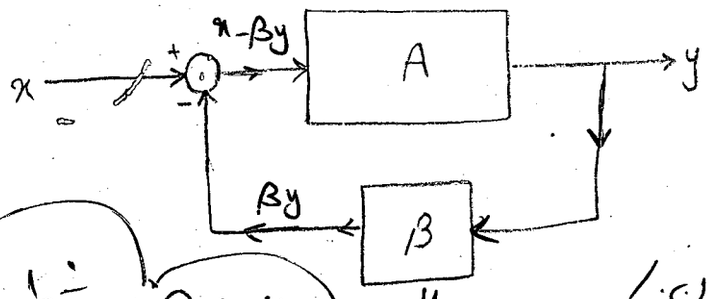
۷۷- مشخصه انتقالی مدار شکل زیر به کدام گزینه مطابقت دارد؟



۱) $V_o = 0$ برای $V_i \geq 4$ ، $V_o = 2V_i - 8$ برای $V_i \leq 4$
۲) $V_o = 0$ برای $V_i \geq 4$ ، $V_o = 2V_i - 8$ برای $V_i \leq 4$
۳) $V_o = 0$ برای $V_i \geq -4$ ، $V_o = -2V_i - 8$ برای $V_i \leq -4$
۴) $V_o = 0$ برای $V_i \leq -4$ ، $V_o = -2V_i - 8$ برای $V_i \geq -4$

LearnElement.ir

۱۷



در سیستم دور و تقویت کننده‌ی A نقش تقویت کننده اصلی را ایفا می کند.

شبکه β نقش مسیر برگشت یا فیدبک را ایفا می کند.

بدون فیدبک $\frac{y}{x} = A$

$y = A[x - \beta y] \rightarrow y = Ax - A\beta y$

هماره فیدبک $\rightarrow \frac{y}{x} = \frac{A}{1+\beta A}$

شرط پایداری در حین فیدبک منفی $\beta A < 1$

نکته۱: خروجی شبکه فیدبک (βy) باستی با ورودی هم دامنه باشد.

نکته۲: دامنه‌ی A باستی عکس دامنه‌ی شبکه فیدبک (β) باشد.

نکته۳: اگر $\beta A \gg 1$ ($A \gg \frac{1}{\beta}$) باشد: $\left(\frac{y}{x}\right)_f = \frac{A}{A\beta} = 1/\beta$ ، یعنی بهره با فیدبک رابطه به بهره اصلی (A) ندارد.

نکته۴: در صورتی فیدبک منفی است که داشته باشیم $(BA > 0)$ و در صورتی فیدبک مثبت است که داشته باشیم $(BA < 0)$

BA { اگر $|BA| > 1$ ← مدار ناپایدار
اگر $|BA| < 1$ مدار پایدار

توجه به اینکه سیگنال ورودی و خروجی در تقویت کننده های فیدبک دار می توانند ولتاژ یا جریان باشند، چهار نوع فیدبک می توان تعریف کرد:

۱ فیدبک ولتاژ - سری (ولتاژ - ولتاژ): در خروجی از ولتاژ نمونه برداری کرده و در ورودی به صورت ولتاژ (سری) اعمال می کنیم

۲ فیدبک ولتاژ - موازی (ولتاژ - جریان): در خروجی از ولتاژ نمونه برداری کرده و در ورودی به صورت جریان (موازی) اعمال می کنیم

۳ فیدبک جریان - موازی (جریان - جریان): در خروجی از جریان نمونه برداری کرده و در ورودی به صورت جریان (موازی) اعمال می کنیم

۴ فیدبک جریان - سری (جریان - ولتاژ): در خروجی از جریان نمونه برداری کرده و در ورودی به صورت ولتاژ (سری) اعمال می کنیم

نمونه داری از ولتاژ به صورت موازی است - اعمال ولتاژ به صورت سری است.

LearnElement.ir

روش کلی حل تقویت کننده های فیدبک دار :

ابتدا شبکه فیدبک را (پس از تشخیص نوع فیدبک) جدا نموده و مقاومت ورودی R_1 و مقاومت خروجی R_2 و ضریب تقویت β آنرا محاسبه می کنیم.

سپس تقویت کنندهٔ بدون فیدبک با اعمال اثر بارگذاری شبکه فیدبک (در ورودی R_1 و در خروجی R_2) را رسم می نماییم.

مقدار $\frac{y}{x}$ را با توجه به نوع فیدبک را بدست می آوریم و آنرا A می نامیم $A = \left(\frac{y}{x}\right)_{\text{بدون فیدبک}}$

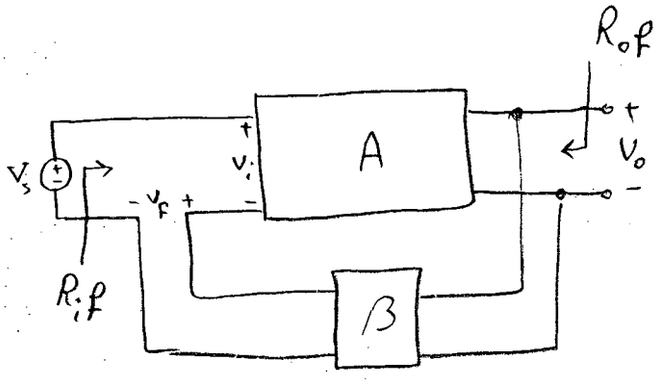
حال می توان با توجه به روابط تقویت کننده های فیدبک سلفی دار، ضریب تقویت با فیدبک را طبق رابطهٔ زیر بدست آورد :

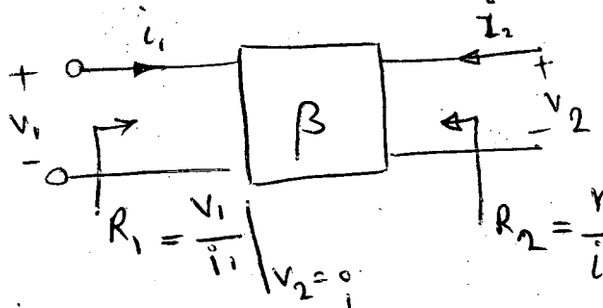
$$\left(\frac{y}{x}\right)_f = \frac{A}{1+\beta A}$$

فیدبک ولتاژ-سری :

اگر بخواهیم از خروجی شبکه تقویت کنندهٔ اصلی (A) ولتاژ نمونه برداری کنیم پایه‌ی شبکه فیدبک در آنجا سوار می شود.

اگر بخواهیم در ورودی شبکه تقویت کنندهٔ اصلی (A) ولتاژ را اعمال کنیم، پایه‌ی شبکه فیدبک در آنجا سری شود





$$R_1 = \left.\frac{V_1}{i_1}\right|_{V_2=0}$$

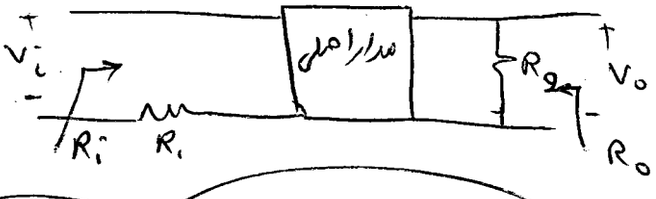
$$R_2 = \left.\frac{r_2}{i_2}\right|_{i_1=0}$$

حول پایه ایزوله شده است

$$\beta = \left.\frac{V_1}{V_2}\right|_{i_2=0}$$

حول پایه 2 سوار شده است

R_2 همانند مدار اصلی است (همسته)



بهره ولتاژ حلقه باز $\left(\frac{y}{x}\right) = \frac{V_o}{V_s} = A$

فیدبک دار $\left(\frac{V_o}{V_s}\right)_f = \frac{A}{1+\beta A}$

$$R_{if} = R_i(1+\beta A)$$

حول شبکه فیدبک در ورودی سری شده (مقاومت ورودی زیاد می شود)

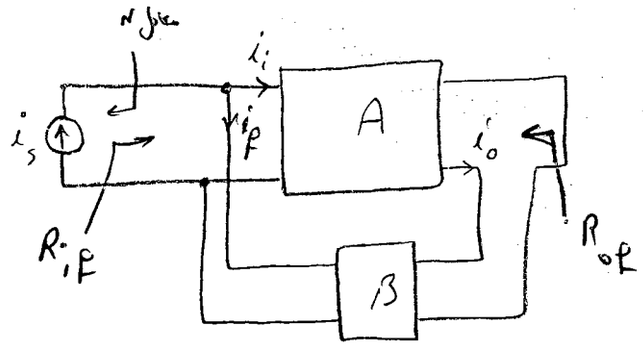
$$R_{of} = \frac{R_o}{1+\beta A}$$

حول شبکه فیدبک (خروجی سوار شده) [illegible]

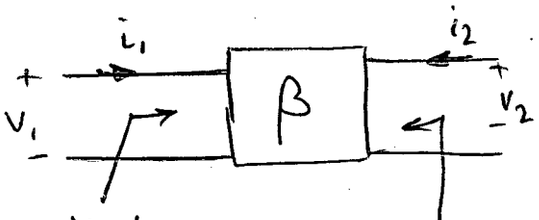
LearnElement.ir

جزوه الکترونیک ۱ استاد عاشقی (تابستان ۱۳۹۰)

فیدبک جریان - موازی :



اگر بخواهیم از خروجی شبکه تقویت کننده اصلی A جریان نمونه برداری کنیم، باید شبکه فیدبک در آنجا سری باشد



واگر بخواهیم در ورودی شبکه تقویت کننده اصلی A جریان اعمال کنیم، بایستی شبکه فیدبک در آنجا موازی شود

$$R_1 = \frac{V_1}{i_1}\Big|_{i_2=0}$$

حین خروجی (پای ۲) سری شده است

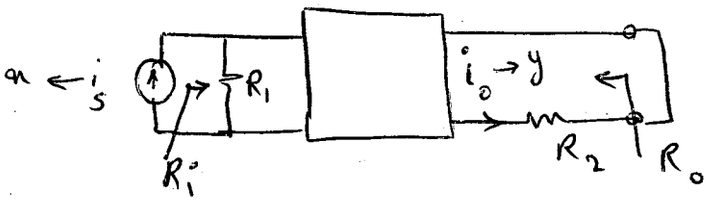
$$R_2 = \frac{V_2}{I_2}\Big|_{V_1=0}$$

حین ورودی (پای ۱) موازی شده است.

$$\beta = \frac{i_2}{i_1}\Big|_{V_1=0}$$

همانند شرایط R_2

$$R_{of} = R_o$$



حین شبکه فیدبک در خروجی سری شده است ⟵

$$R_{of} = R_o\,(1+\beta A)$$

حین شبکه فیدبک در ورودی موازی شده است. ⟵

$$R_{if} = \frac{R_i}{1+\beta A}$$

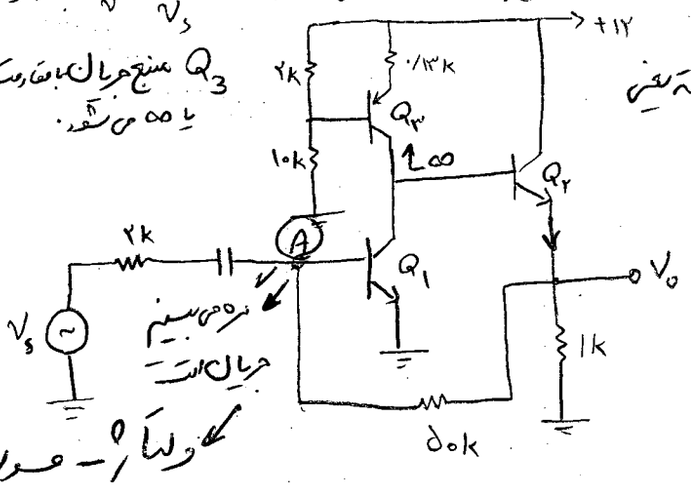
LearnElement.ir

www.bargh-arshad.com

۷۴

برق-۷۹) در تقویت کننده شکل مقابل برای هر دو ترانزیستور $h_{ie} = 1\,k\Omega$ ، $h_{fe} = 100$ ، $A_v = \frac{V_o}{V_s}$ کدامیک از اعداد زیر تقریباً صحیح است؟

۱) -۱۰۰
۲) -۵۰
۳) -۲۵
۴) $-\frac{۵۰}{۳}$



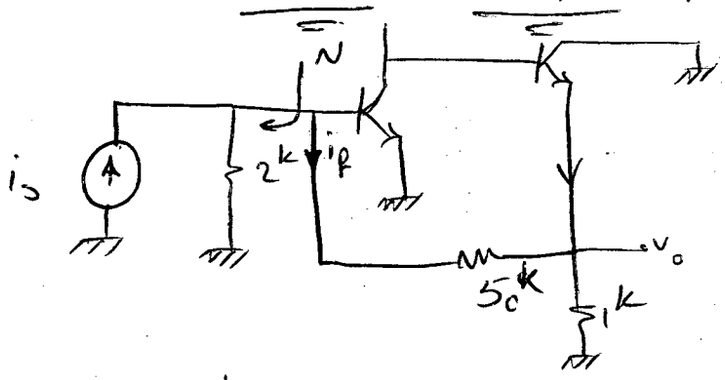
Q_3 منبع جریان با مقاومت امپدانس درحالت ac، مدار باز یا ∞ می‌شود.

Q_3 را مدار داخل دایره بزرگ، ∞ است.

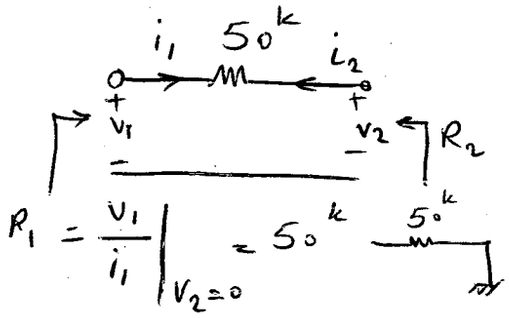
نزدیک‌ترین جریان است

ولتاژ - موازی

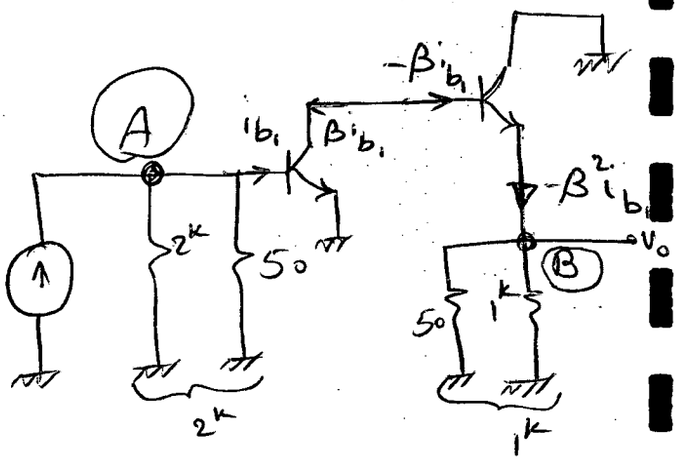
ورودی ⊥ (ورودی کلی) از شبکه فیدبک مستقیماً به V_o وصل بود یا ولتاژ - سری است یا ولتاژ - موازی.



$$i_{b_1} = \frac{2^k}{2^k + h_{ie_1}} \cdot i_s = \frac{2}{3} i_s$$



$$R_1 = \left.\frac{V_1}{i_1}\right|_{V_2=0} = 50^k \quad 50^k$$



$$R_2 = \left.\frac{V_2}{i_2}\right|_{V_1=0} = 50 \quad i_1\ 50\ i_2 \quad V_2$$

$$\beta = \left.\frac{i_1}{V_2}\right|_{V_1=0} = i_1\ 50\ i_2 \ (V_2) \Rightarrow -50 i_1 = V_2 \Rightarrow \left.\frac{i_1}{V_2}\right|_{V_1=0} = \frac{-1}{50}$$

$$V_o = 1^k \times -\beta^2 i_{b_1} = -\beta^2 \times \frac{2}{3} i_s \xrightarrow[\text{بدون فیدبک}]{} \left(\frac{y}{x}\right) = \frac{V_o}{i_s} = -6666\,k\Omega$$

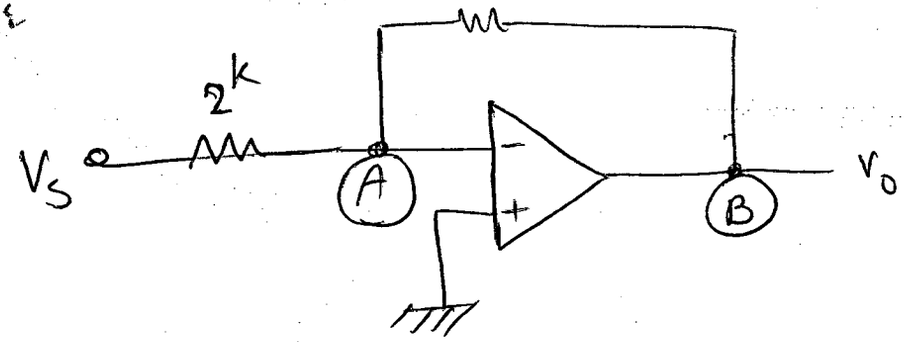
$$\left(\frac{y}{x}\right)_f = \left(\frac{V_o}{V_s}\right) = \frac{-6666}{1 + \frac{-6666}{50}} = -50$$

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{N_o}{2 i_s} = \frac{-50}{2}$$

LearnElement.ir

www.baryh_arshad.com

روش ۲



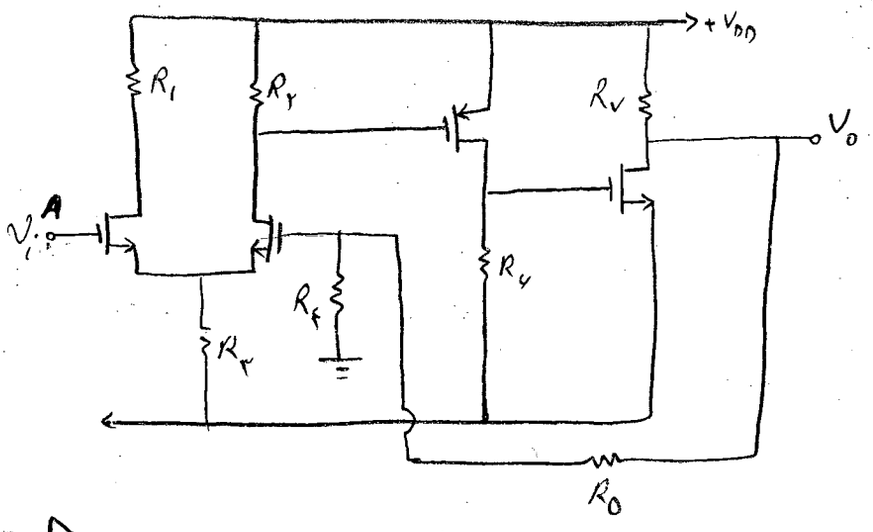
$$\frac{V_0}{V_S} = -25$$

از تقویت کننده ای در طبقه که FET دارد این روش جواب نمی دهد.

نکته ۱: عددی بدست آمده از روش فوق کاربرد مهمی در تقویت کننده ها دارد. (یعنی گزینه ها با اندازه بیشتر حذف شدند)

نکته ۲: از این روش زمانی استفاده میکنیم که تقویت کننده اصلی بهره زیادی داشته باشد ($|BA| \gg 1$) همچنین گزینه ها نزدیک هم نبودند. (اهمیت بیشتر بهره زیاد دارد.)

۷۸- در مدار تقویت کننده شکل زیر بهره ولتاژ مدار $\frac{V_0}{V_i}$ به کدام گزینه نزدیک تر است؟ ولتاژ - حدی

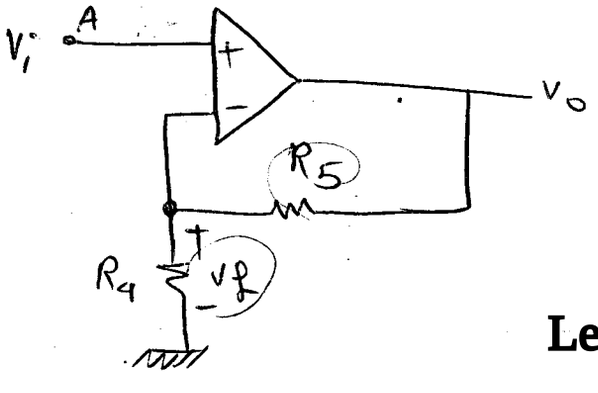


1) $\frac{R_3 \,||\, (R_6 + R_0)}{(R_6 + R_0)}$

2) $\frac{1}{2} g_{m_1} g_{m_2} g_{m_6} R_2 R_4 R_7$

3) $1 + \frac{R_0}{R_6}$

4) $1 + \frac{(R_7 + R_0) \,||\, R_6}{R_6}$



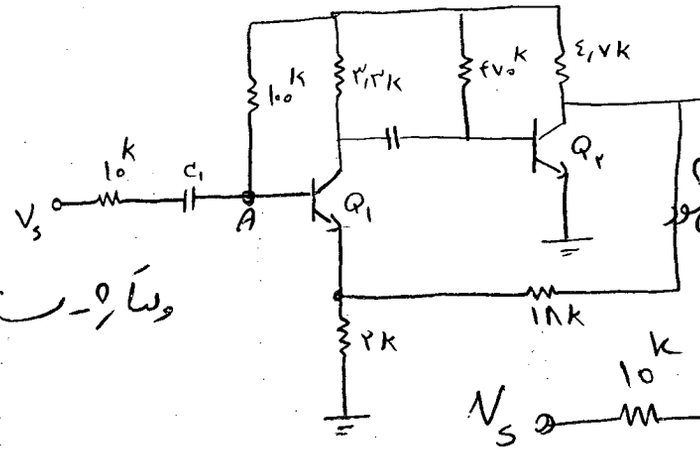
$$\frac{V_0}{V_i} = 1 + \frac{R_5}{R_4}$$

LearnElement.ir

www.barqh-arshad.com

۱۵/

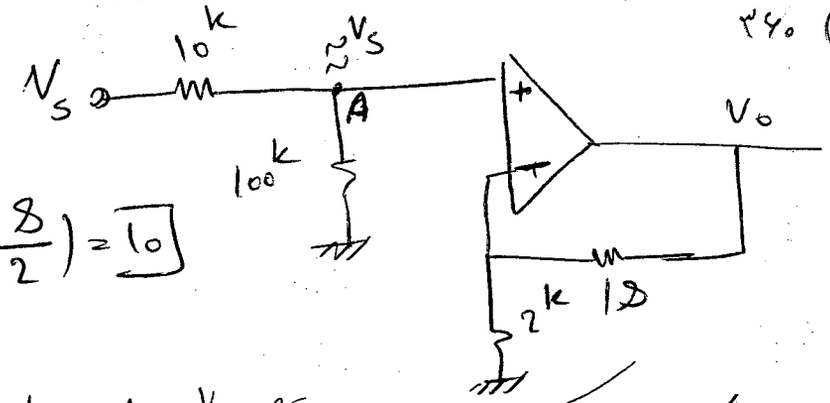
برق-۸۱) در شکل زیر با فرض $I_{C_1}=2mA$ و $I_{C_2}=1.5mA$ ، $\beta=100$ ، مقدار $\frac{V_o}{V_s}$ به کدامیک از گزینه‌های زیر نزدیک است؟



۱) ۱۰
۲) ۲۰
۳) ۶۰
۴) ۳۶۰

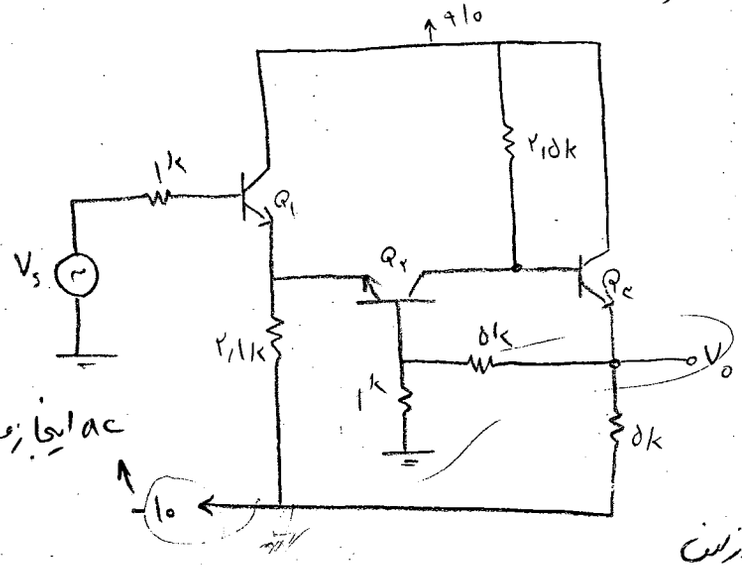
حول فیدبک ضرب است (فرض) ← حرص به پایه منفی Op-Amp وصل می‌شود ← ولتاژ-سری

$V_A=\frac{100}{110}$



$$\rightsquigarrow \frac{V_o}{V_s}=\left(1+\frac{18}{2}\right)=10$$

برق-۸۷) در شکل روبرو نوع فیدبک و مقدار تقریبی بهره ولتاژ $A_{V_s}=\frac{V_o}{V_s}$ عبارت است از: $V_{BE}=0.7$ و $\beta=100$

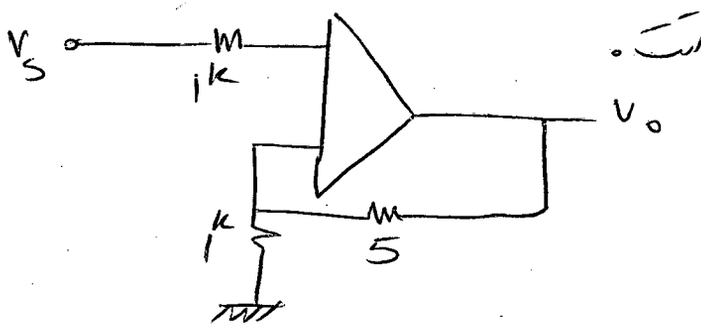


۱) ولتاژ-سری ، ۵/۵
۲) ولتاژ-سری ، ۷/۵
۳) جریان-سری ، ۶
۴) ولتاژ-موازی ، ۱/۲

ac اینجا زمین می‌شود

$$\frac{V_o}{V_s}=\left(1+\frac{5}{1}\right)=+6$$

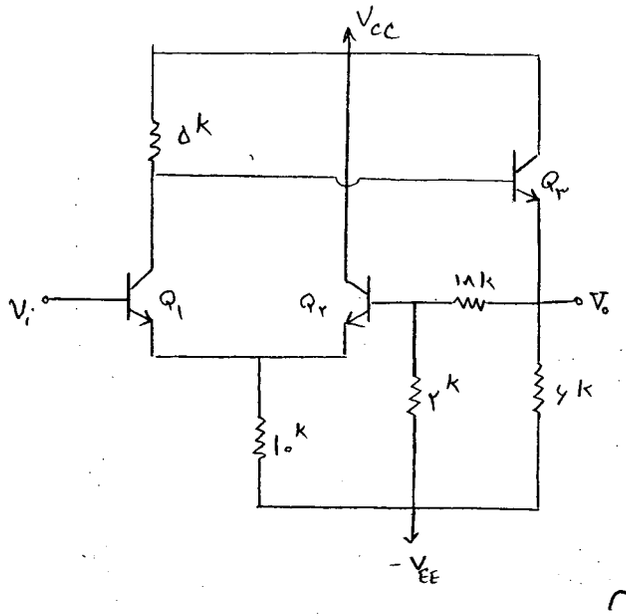
← برای حالت ایده‌آل است همواره بایستی از این مقدار کمتر باشد از طرف فیدبک ولتاژ-سری است.

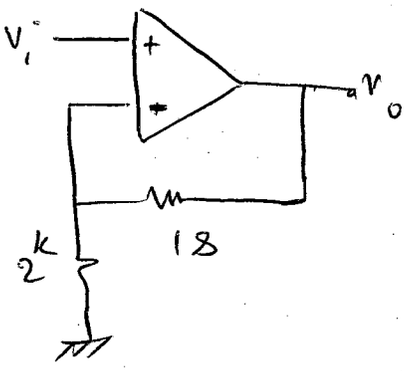


LearnElement.ir

جزوه الکترونیک ۱ استاد باغستانی (تابستان ۱۳۹۰)

کاردانی - کارشناسی - ۸۹) در تقویت کننده شکل مقابل، مقدار تقریبی بهره ولتاژ $\frac{V_o}{V_i}$ کدام است؟





$$\rightsquigarrow \frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{18}{2} = \boxed{10}$$

کارشناسی ارشد برق - ۸۹) در شکل روبرو مقدار بهره ولتاژ $A_{v_s} = \frac{V_o}{V_s}$ چقدر است؟

$\beta = 50$, $I_c = 1mA$, $V_p = -2V$

$g_{m_{FET}} = 2\ \frac{mA}{V}$, $r_{ds} = 50\ k\Omega$

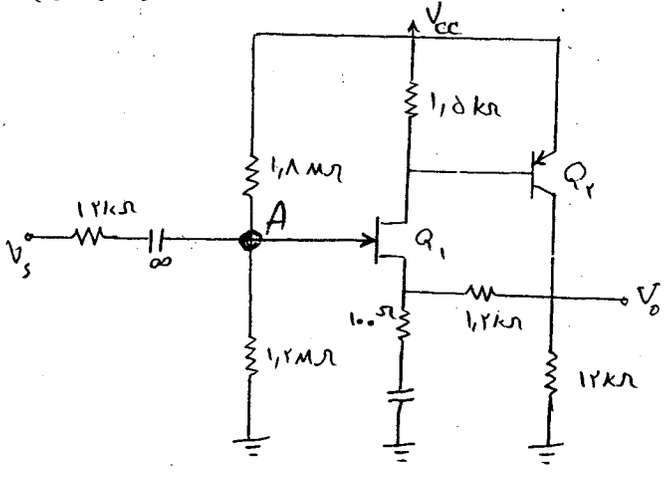
(از اثر خازن‌ها در گستره‌ی میانی صرف نظر شود)

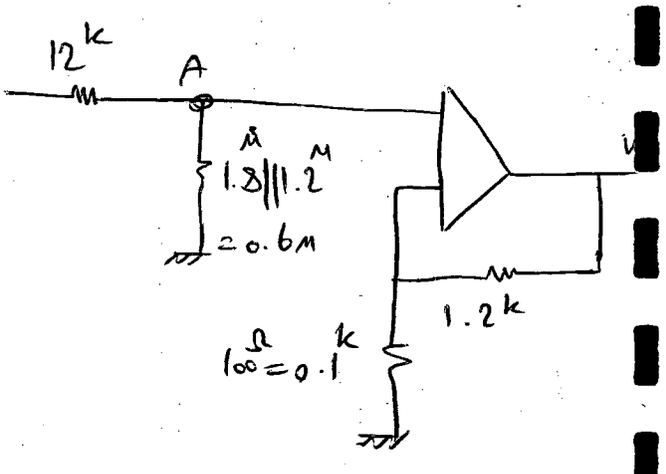
۱) $|A_{v_s}| \simeq 10,2$

۲) $|A_{v_s}| \simeq 2,4$

۳) $|A_{v_s}| \simeq 15,2$

۴) $|A_{v_s}| \simeq 50$





ولتاژ سری

$$\frac{V_o}{V_s} = 1 + \frac{1.2}{0.1} = \boxed{13}$$

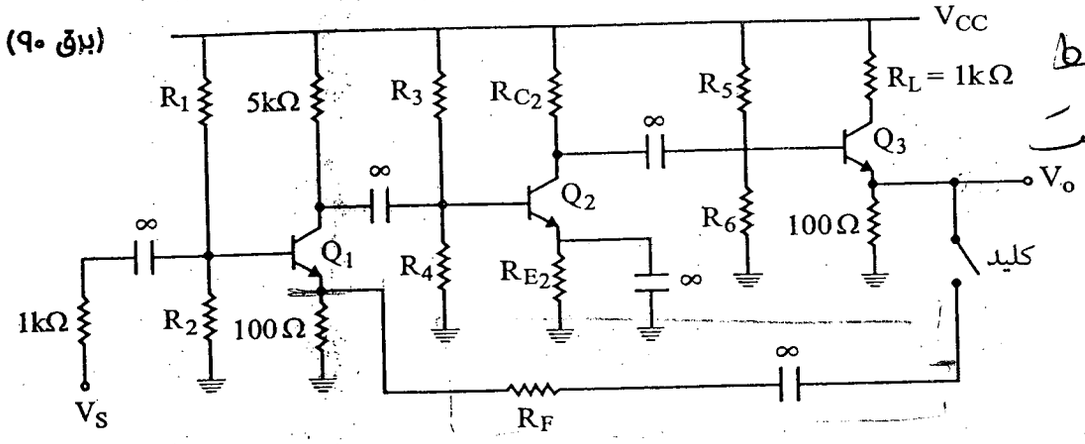
لذا پاسخ تست را انتخاب می‌کنیم.

LearnElement.ir

www.bargh.arshad.com

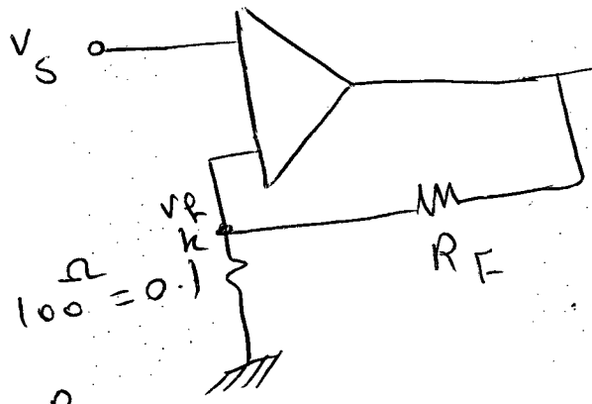
در مدار زیر بهره ولتاژ در حالتی که کلید باز باشد (قطع) برابر (۲۰۰-) می‌باشد. اگر بهره ولتاژ در حالت کلید وصل ۴۰- باشد، مقدار مقاومت R_F تقریباً چند کیلواهم (kΩ) است؟

(برق ۹۰)



۱) ۳/۹ (قطع)
۲) ۴/۹ (وصل)
۳) ۵/۷
۴) ۶/۷

$\beta = \frac{V_f}{V_o}$



(خطا)

حون $BA \gg 1$ نیست نمی‌توان از این روش رفت.

$$\frac{V_o}{V_S} = 1 + \frac{R_F}{0.1}$$

$$90 = 1 + \frac{R_F}{0.1} \rightsquigarrow \boxed{R_F = 3.9}$$

حل سریع

$$\frac{V_f}{V_o} = \beta = \frac{0.1}{0.1 + R_F} \quad , \quad \frac{A}{1+\beta A} = 90 \xrightarrow{A=200} \beta = \frac{1}{50}$$

$$\rightarrow AB \gg 1 \qquad \rightsquigarrow \beta = \frac{0.1}{0.1+R_F} \Rightarrow \frac{1}{50} = \frac{0.1}{0.1+R_F}$$

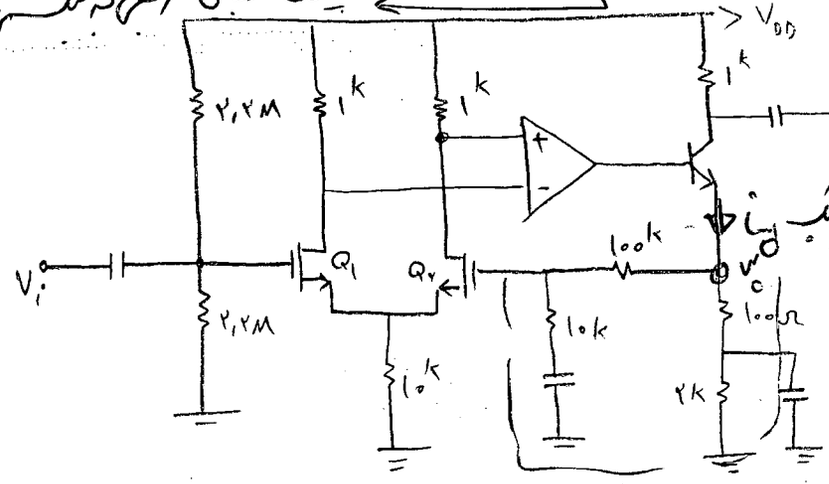
$$\rightarrow R_F = 4.9\,k\Omega$$

LearnElement.ir

www.bargharshad.com

برق-۸۱) مطلوبست $\left|\frac{V_o}{V_i}\right|$ در مدار شکل زیر

(مشابه برق-۸۵)



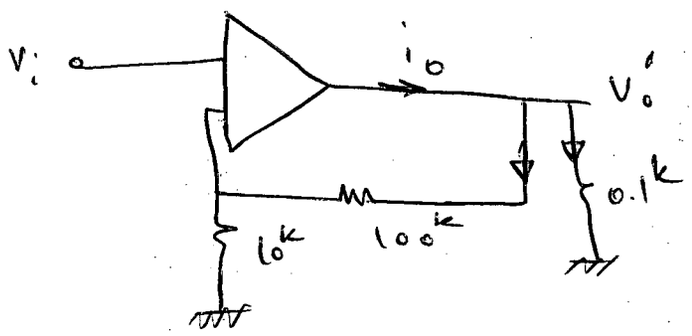
۱) ۵٫۵

۲) ۱۱

۳) ۵۵

۴) ۱۱۰

$$v_o' = \left(1 + \frac{100}{10}\right) = 11 v_i$$



$$i_o = \frac{v_o'}{0.1} + \frac{v_o'}{10^k + 100^k} = 10 v_o'$$

صرف نظر

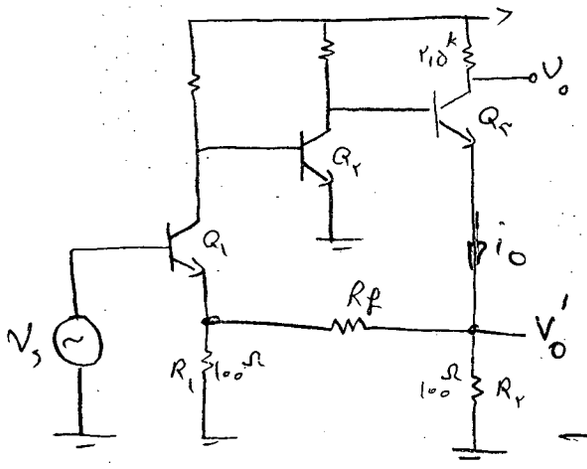
$$\rightsquigarrow V_o = -1^k \times i_o = -1 \times 10 v_o'$$

$$= -1 \times 10 \times 11 V_i$$

$$\rightsquigarrow \boxed{\frac{V_o}{V_i} = -110}$$

برق-۸۲) در مدار شکل مقابل R_f را برای بهرهٔ ولتاژ مدار ۱۰۰- محاسبه کنید. بهرهٔ ولتاژ تقویت کنندهٔ اصلی ۵۰۰۰- است.

۱) ۱kΩ ۲) ۱۰۰Ω ۳) ۲۰۰Ω ۴) ۴۰۰Ω



$$i_o = \frac{v_o'}{0.1} + \frac{v_o'}{R_f + 0.1}$$

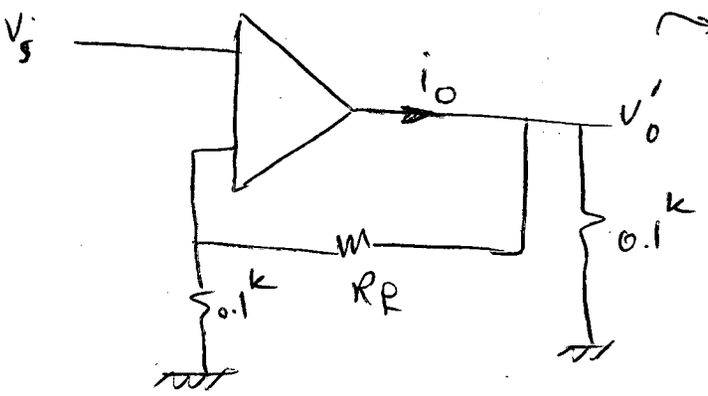
$$v_o' = \frac{R_f + 0.1}{0.1} v_i = 10(R_f + 0.1) v_i$$

$$\rightarrow i_o = 100(R_f + 0.1) v_i + 10 v_i = (100 R_f + 20)$$

$$\rightsquigarrow V_o = -2.5 \times i_o = -2.5(100 R_f + 20) v_i$$

$$\rightarrow \frac{V_o}{V_i} = -100 = -2.5(100 R_f + 20)$$

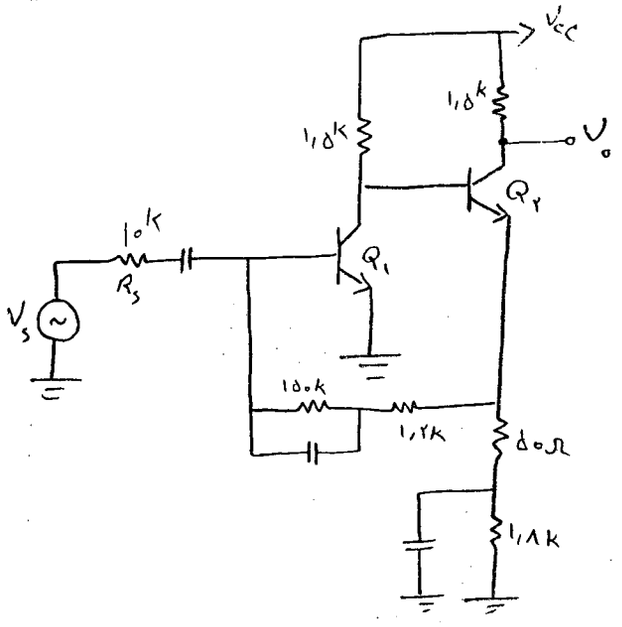
$$\rightsquigarrow \boxed{R_f = 0.2^k = 200^\Omega}$$



LearnElement.ir

۷۹

کاردانی به کارشناسی - ۸۸) - در تقویت کننده شکل مقابل بهره ولتاژ $\frac{V_o}{V_s}$ کدام است؟



۱) ۳,۷۵ ✓

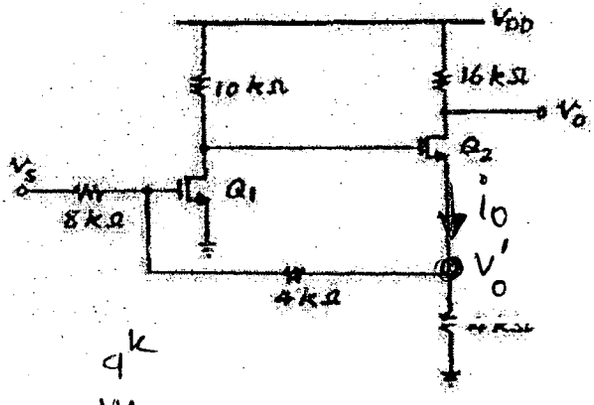
۲) ۴,۲۵

۳) ۶,۵

۴) ۱۳

ارشد برق - ۸۹)

در شکل مقابل، ترانزیستورهای Q_1 و Q_2 در ناحیهٔ اشباع بایاس شده‌اند. مقدار بهره ولتاژ $\frac{V_o}{V_s}$ به کدام مقدار نزدیکتر است؟ $g_{m_1} = 10\frac{mA}{V}$ ، $g_{m_2} = 2\frac{mA}{V}$



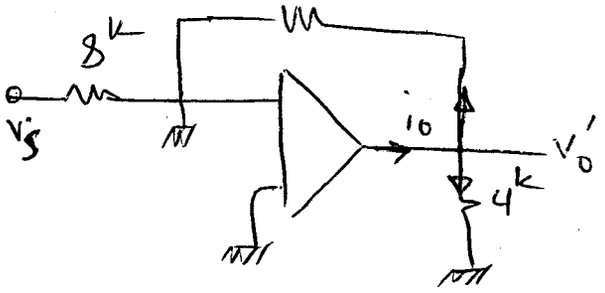
۱) ۲

۲) ۸

۳) ۴

۴) ۱۶

به عنوان تمرین از روشن اصلی حل شود. (جریان - ولتاژ)



$$i_o = \frac{v'_o}{4} + \frac{V'_o}{4} = \frac{2V'_o}{2} = \frac{-V_s}{4}$$

$$V_o = -i_o \times 16^k$$

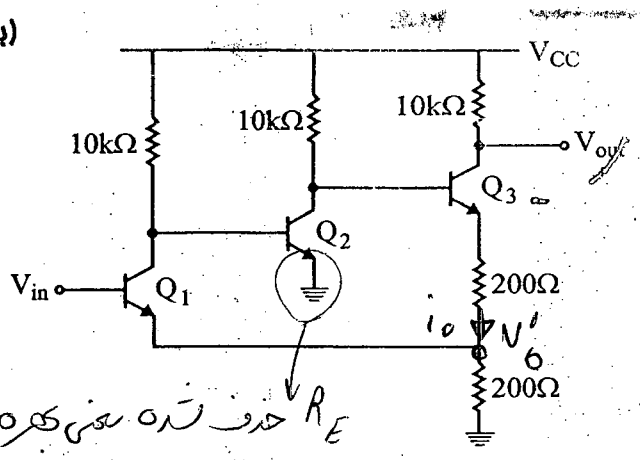
$$V_o = -\left(\frac{-V_s}{4}\right) \times 16 \rightarrow \frac{V_o}{V_s} = +4$$

$$\frac{V'_o}{V_s} = \frac{4}{8} = \frac{-1}{2}$$

LearnElement.ir

www.baryh-arshad.com

۸۰ ـ در مدار شکل زیر همه ترانزیستورها در ناحیه فعال بایاس شده‌اند. مقدار بهره ولتاژ $A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$ آن تقریباً چقدر است؟ (برق ۹۰)



$$\begin{cases} \beta = ۱۰۰ \\ g_m = ۴۰ \frac{mA}{V} \\ V_A = \infty \end{cases}$$

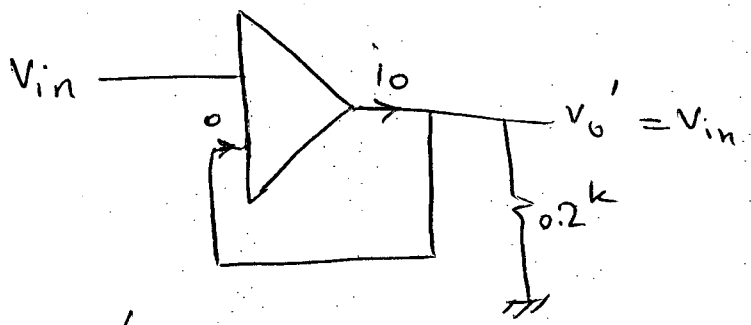
حذف شده یعنی بهره مدار بسیار زیاد است R_E

۱) ۵۰ ۲) ۲۵ ۳) ۱۰۰ ۴) ۷۵

از عرض آزمون فاصله زیاد دارند.

می‌توان از روش op-Amp رفت

جریان سری



$$i_o = \frac{V'_o}{0.2} = 5 V_{in}$$

$$V_o = -i_o \times 10^k = -50 V_{in} \longrightarrow V_o = -i_o \times 10^k = -50 V_{in}$$

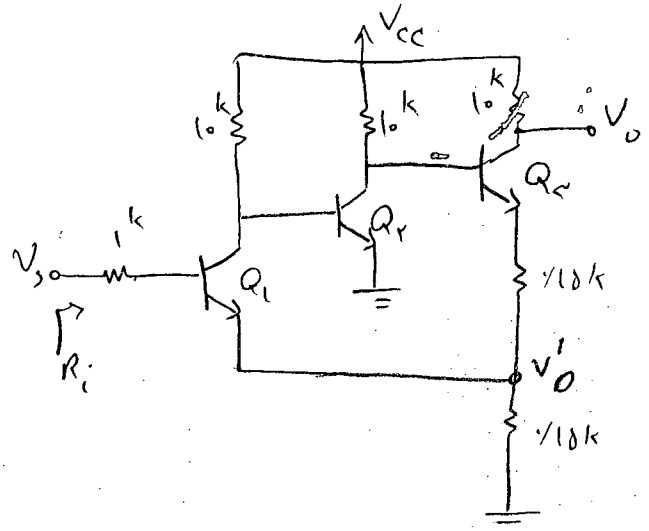
LearnElement.ir

برق - ۸۲) در شکل روبرو مطلوبست: ($\beta = 100$, $r_\pi = 1k\Omega$)

الف) نوع فیدبک؟

ب) مقاومت ورودی R_i؟

ج) بهره ولتاژ: $\left|\frac{V_o}{V_i}\right| = ?$



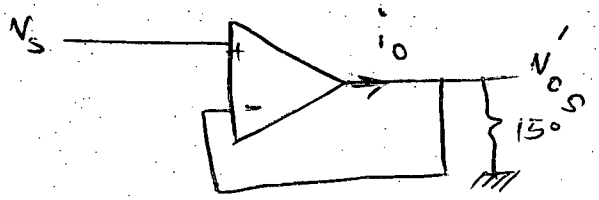
۱) $\left|\frac{V_o}{V_s}\right| = 44,1$ ، $R_i = 14\,M\Omega$ ، فیدبک جریان-موازی

۲) $\left|\frac{V_o}{V_s}\right| = 110.8$ ، $R_i = 14\,M\Omega$ ، فیدبک جریان-موازی

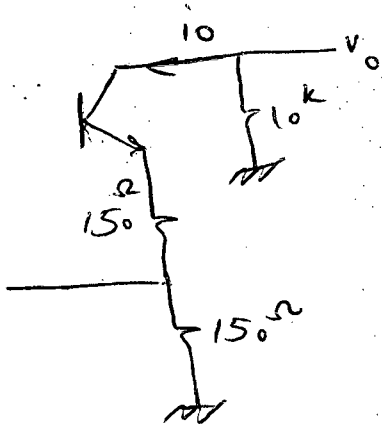
۳) $\left|\frac{V_o}{V_s}\right| = 44,1$ ، $R_i = 14\,k\Omega$ ، فیدبک جریان-سری

۴) $\left|\frac{V_o}{V_s}\right| = 44,1$ ، $R_i = 14\,M\Omega$ ، فیدبک جریان-سری

نوع فیدبک جریان سری است.



$V'_o = V_s$



$$i_o = \frac{V'_o}{0.15k} = \frac{V_s}{0.15k}$$

$$V_o = -10 i_o$$

$$V_o = -10 \times \frac{V_s}{0.15k}$$

$$\rightsquigarrow V_o = -66.7 V_s$$

$$R_{if} = R_i(1+\beta A)$$

LearnElement.ir

جزوه الکترونیک ۲ استاد باغستانی (تابستان ۱۳۹۰)

۸۲/

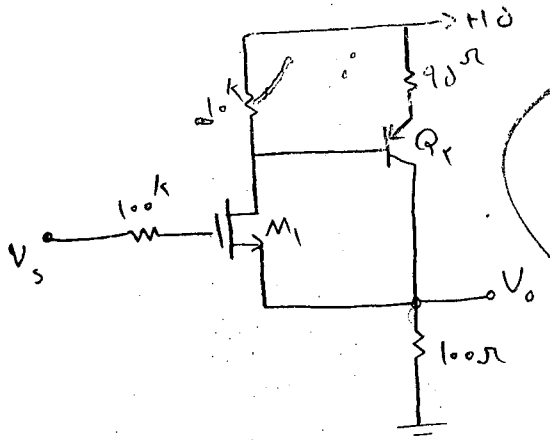
برق ۸۶) برای مدار مقابل بهره ولتاژ و مقاومت خروجی تقریباً برابر است با: $g_m = 2\,m\mho$ ، $r_{e_2} = 5\Omega$ ، $h_{fe} = \beta = 100$

۱) ۰/۹ ، ۹۰Ω

۲) ۰/۹ ، ۹Ω

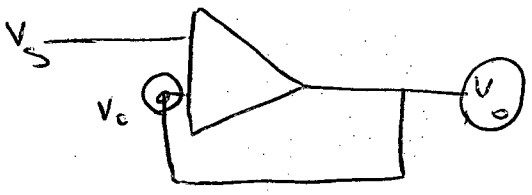
۳) ۱/۱ ، ۱۰۰Ω

۴) ۱ ، ۱۰۰Ω



خرم حل شود

روش ۱: نوع ضدیک ولتاژ سری است.



در حالت ایده‌آل بهره تقویت کننده ضوق تقریباً $\frac{V_o}{V_s} \cong 1$ ~ در حالت ایده‌آل

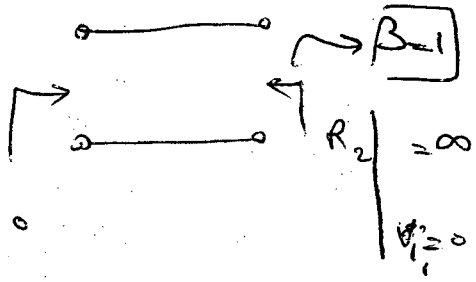
= می‌شود یعنی در حالتی که خیلی ایده‌آل باشد = است پس برابر یا نزدیک‌تر است به گزینه 3 و 4 حذف.

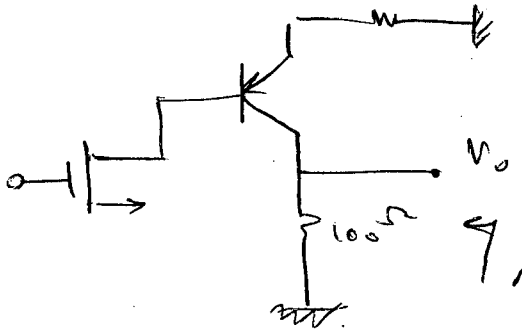
چون تعداد طبقات کم است و در امیتر و سورس مقاومت داریم بهره نمی‌تواند ایده‌آل در بیاید شود.

$$\rightarrow \frac{A}{1+\beta A} = 0.9 \xrightarrow{\beta=1} \frac{A}{1+A} = 0.9 \rightsquigarrow A = 9$$

(*) V_o عینا در ورودی موجود است.

روش ۲:





چون ضدیک جاریس موازی شده

$$\rightarrow R_{of} = \frac{R_o}{1+\beta A} = \frac{100}{10} = 10\Omega$$

LearnElement.ir

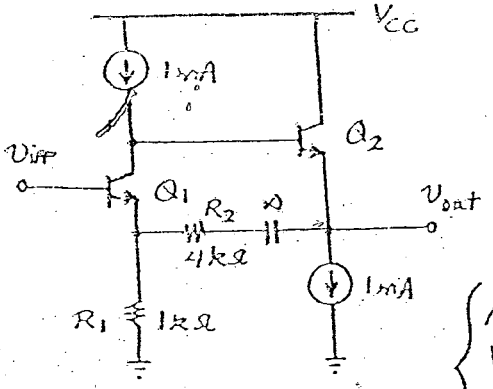
www.barghe-arshad.com

۱۸۲

در مدار شکل مقابل ترانزیستورهای Q_1 و Q_2 در ناحیه فعال بایاس شده‌اند. نوع فیدبک آن به کدام صورت است؟

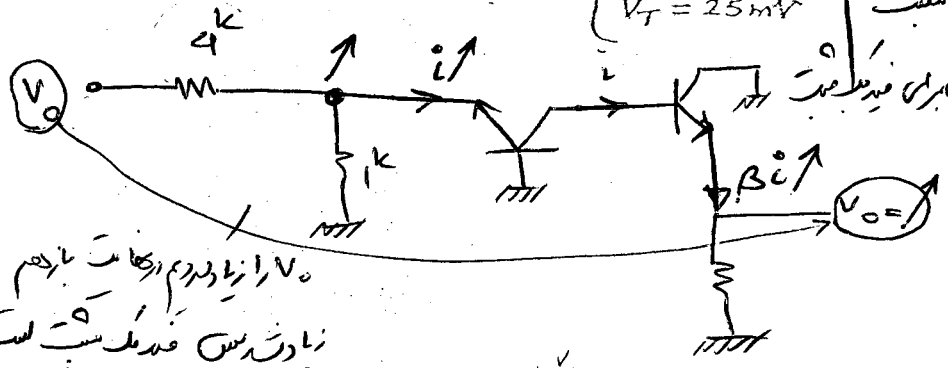
(اتوماسیون - ۸۹)

۱) فیدبک منفی ولتاژ ـ سری
۲) فیدبک منفی ولتاژ ـ موازی
۳) فیدبک آن مثبت بوده و ناپایدار است.
۴) فیدبک آن مثبت بوده ولی پایدار است.



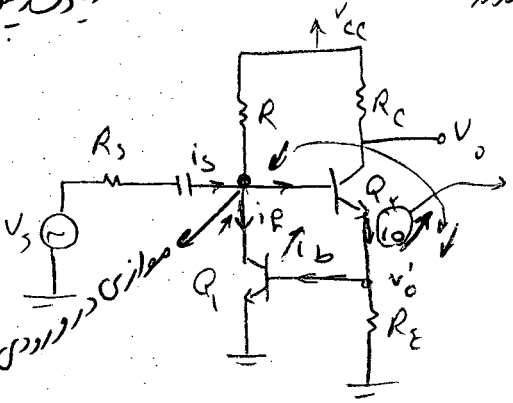
$\beta = 100$
$V_A = \infty$
$V_T = 25mV$

شرط فیدبک منفی $\quad BA > 0$
شرط فیدبک مثبت $\quad BA < 0$
شرط ناپایداری برای فیدبک مثبت $\quad |BA| > 1$



(V_o را زیاد می‌دهیم و کفایت می‌کند)
زیاد شدن فیدبک مثبت است

(ادامه سوال ۱۸۴ برق)



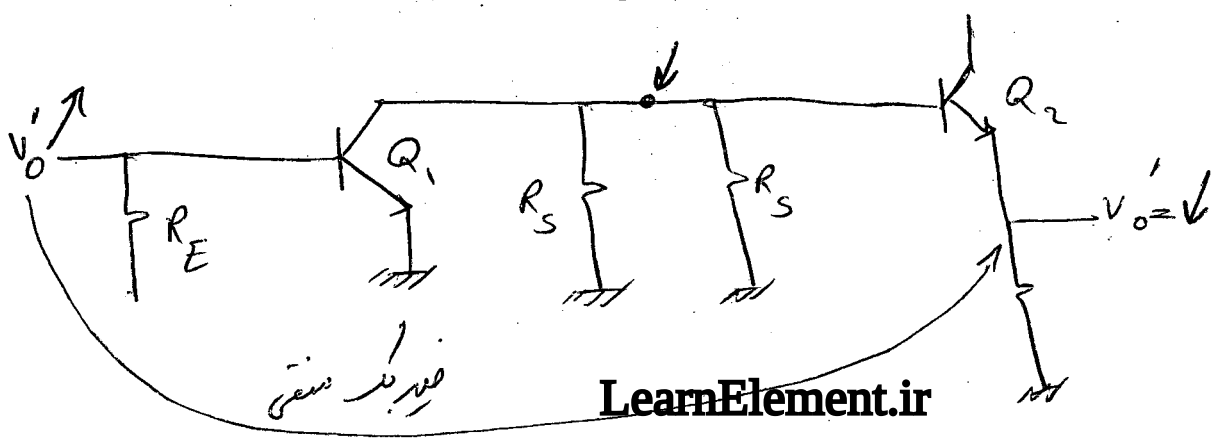
فیدبک منفی

۱۸۶) نوع فیدبک را در مدار زیر مشخص کنید :

۱) فیدبک مثبت و از نوع جریان - ولتاژ
۲) فیدبک مثبت و از نوع جریان - جریان
۳) فیدبک منفی و از نوع جریان - ولتاژ
۴) فیدبک منفی و از نوع جریان - جریان

موازی در ورودی یعنی جریان
نوع فیدبک ← جریان - جریان

اگر فیدبک مثبت باشد هر نقطه از مدار در شرط بارکهاوزن صدق کند (یا حلقه) از آنجا صدق می‌کند باید افزایش داشته باشد.



LearnElement.ir

www.barghe-arshad.com

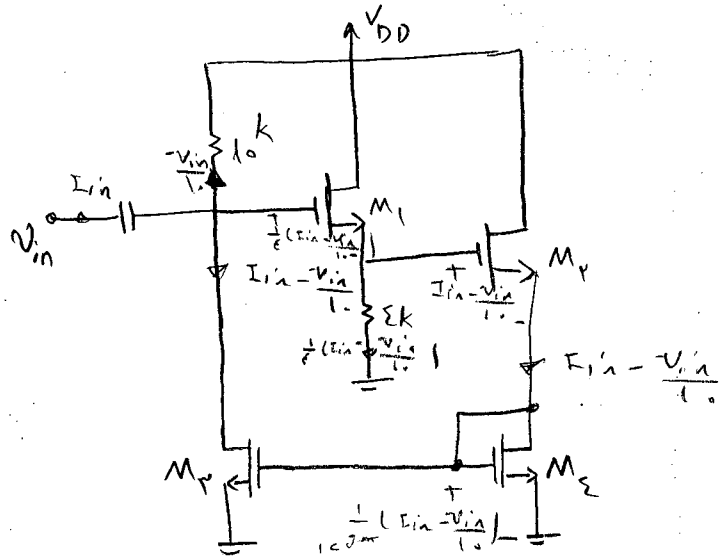
۸۶/ مدار روبرو با کدام گزینه تقریباً برابر است؟ ($g_m = 1\ \frac{mA}{V}$ ، $r_d = \infty$)

۱) $1\ k\Omega$

۲) $2\ k\Omega$

۳) $10\ k\Omega$

۴) $10\ k\Omega \parallel 1\ k\Omega$

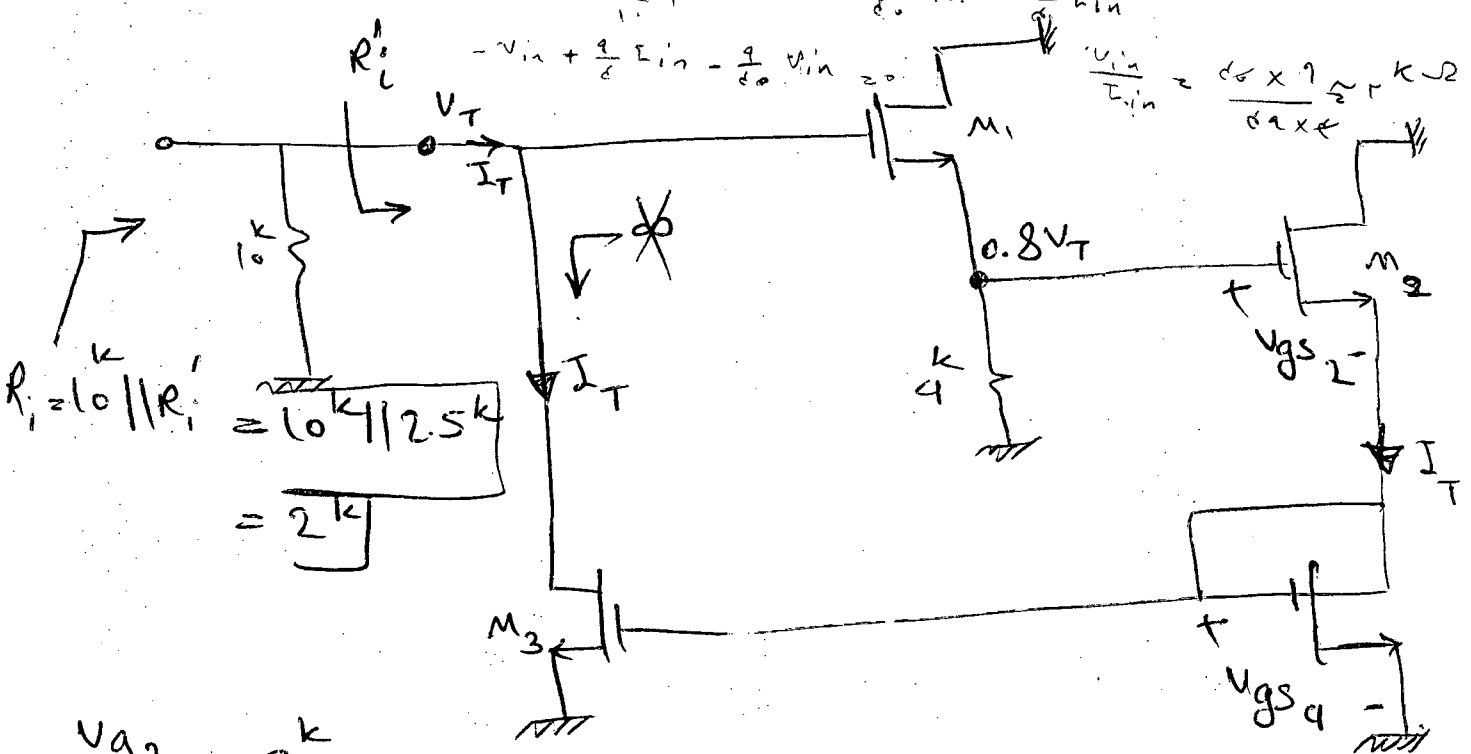


راه‌حل: ترانزیستورها اشباع هستند.

$$-V_{in} + \frac{1}{g_m}\left(I_{in} - \frac{V_{in}}{10}\right) + 2\left(I_{in} - \frac{V_{in}}{10}\right) = 0$$

$$-\frac{9}{10}V_{in} = -\frac{9}{5}I_{in}$$

$$\frac{V_{in}}{I_{in}} = \frac{10 \times 9}{5 \times 9} = 2\ k\Omega$$



$$R_i = 10^k \parallel R_i' = 10^k \parallel 2.5^k = 2^k$$

$$\frac{V_{g_2}}{V_{g_1}} = \frac{4^k}{4 + \frac{1}{g_m}} = 0.8$$

M_2 و M_4 مشابه $\rightarrow g_{m_2} = g_{m_4} \rightarrow V_{gs_2} = V_{gs_4}$

M_4 و M_2 سری $\rightarrow I_{D_2} = I_{D_4}$

$$0.8V_T = 2V_{gs_2}$$

$$I_T = g_m V_{gs_2}$$

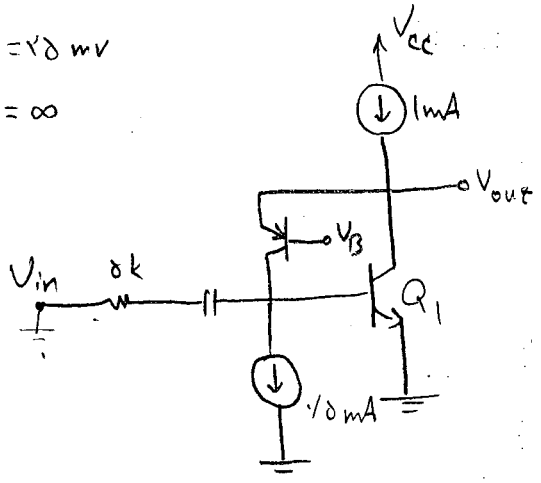
$$\rightarrow R_i = \frac{V_T}{I_T} = \frac{2}{0.8 g_m} = 2.5^k$$

LearnElement.ir

www.barghe-arshad.com

۸۵/ برق ۸۷- در مدار شکل زیر ترانزیستورهای Q_1 و Q_2 در ناحیهٔ فعال بایاس شده‌اند. مقدار مقاومت خروجی R_{out} آن تقریباً برابر است با:

$\beta = 100$
$V_T = 25\,mV$
$V_A = \infty$



۱) $R_{out} \simeq 1.5\,M\Omega$

۲) $R_{out} = 1\,\Omega$

۳) $R_{out} = 25\,M\Omega$

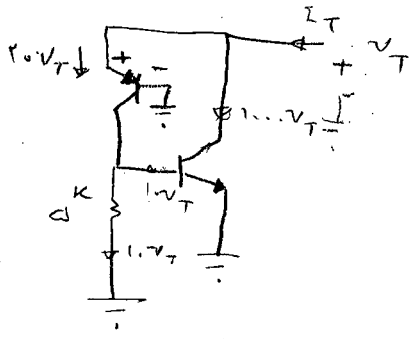
۴) $R_{out} \simeq 50\,\Omega$

نوع فیدبک ولتاژ - سری است.

یعنی مقاومت خروجی کم می‌شود. حال در خروجی ولتاژ داریم یعنی مقاومت (سری) ← مقاومت کم می‌شود.

$g_m = 20$

$V_T = 5^K$



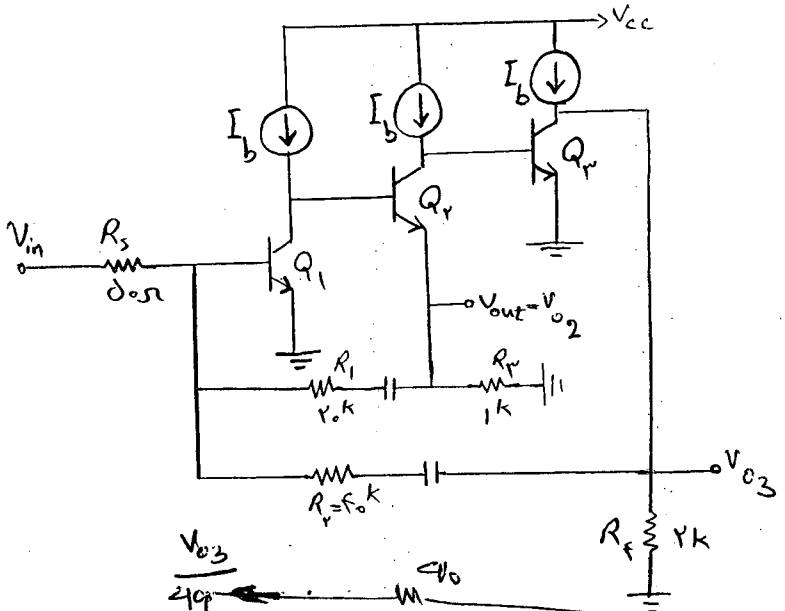
$10.20\,V_T = i_T$

$\frac{-V_T}{i_T} = \frac{1}{10.20} \simeq 1\,\Omega$

LearnElement.ir

۸۹/

تست ۸۸) در مدار شکل زیر همهٔ ترانزیستورهای مدار در ناحیهٔ فعال بایاس شده‌اند و منابع جریان I_b ایده‌آل هستند. بهره ولتاژ $A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$ تقریباً برابر است با: $(V_A = \infty \ , \ V_T = 25mV \ , \ \beta = 100 \ , \ I_b = 1mA)$

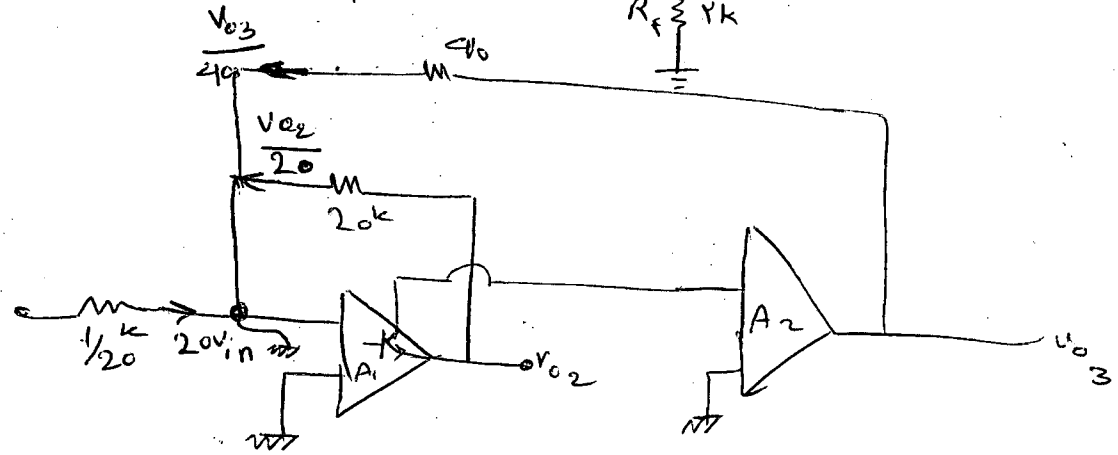


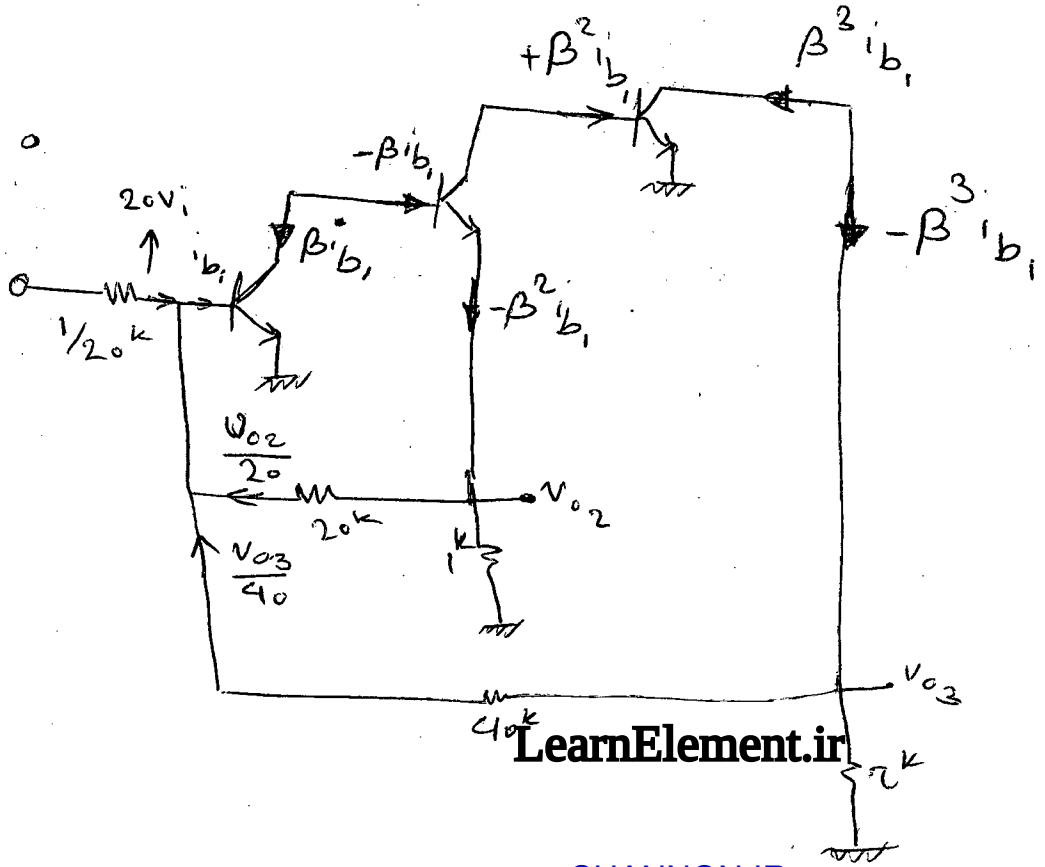
۱) $|A_v| \approx 30 \frac{V}{V}$

۲) $|A_v| \approx 40 \frac{V}{V}$

۳) $|A_v| \approx 50 \frac{V}{V}$

۴) $|A_v| \approx 60 \frac{V}{V}$





LearnElement.ir

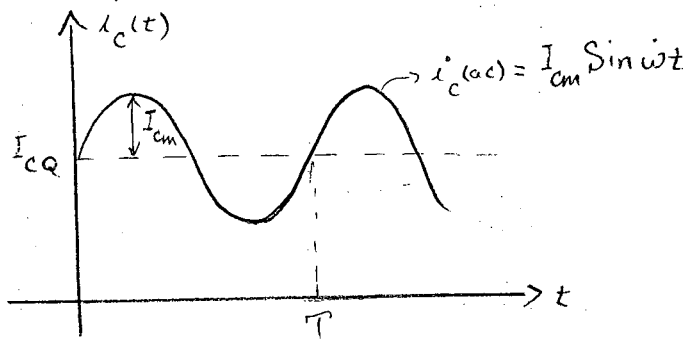
تقویت کننده های قدرت :

تقویت کننده های قدرت که در طبقهٔ آخر یک تقویت کننده مورد استفاده قرار می گیرد ، بسته به اینکه چه مقدار از دورهٔ تناوب جریان یا ولتاژ خروجی غیر صفر است ، به کلاسهای مختلف دسته بندی می شوند :

$$\eta = \frac{P_{L(ac)}}{P_{cc}}$$

۱- تقویت کننده کلاس A :

در این نوع تقویت کننده نقطهٔ کار طوری بایاس شده است که جریان خروجی در کل دورهٔ تناوب غیر صفر است .



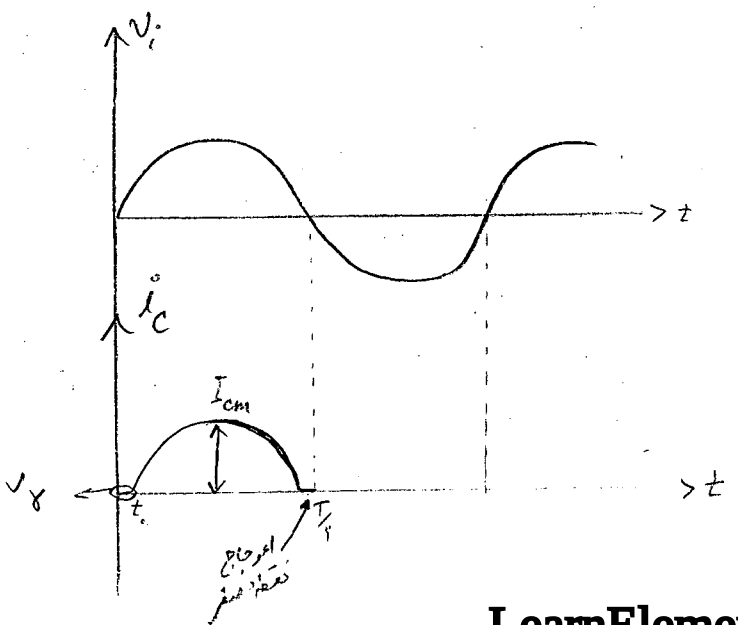
$$i_c(t) = I_{cq} + I_{cm} \sin \omega t$$

بطوریکه $I_{cm} \leq I_{cq}$

۲- تقویت کننده کلاس B و AB :

در تقویت کننده‌ی کلاس B ، نقطهٔ کار (جریان خروجی یا ولتاژ خروجی) در نقطهٔ صفر بایاس شده است .

بنابراین جریان خروجی وقتی غیر صفر و برقرار خواهد شد که ولتاژ ورودی نقطهٔ کار را به حد روشن شدن تقویت کننده زنانده باشد



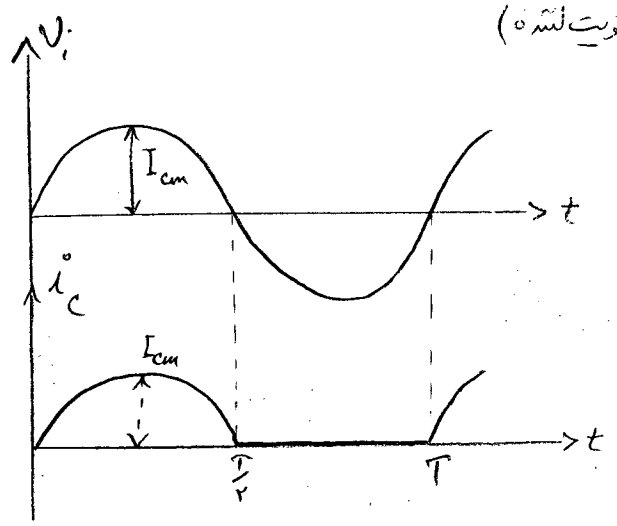
$$i_c(t) = \begin{cases} I_{cm} \sin \omega t & ; t_0 < t < \frac{T}{2} - t_0 \\ 0 & \text{در نقاط دیگر} \end{cases}$$

LearnElement.ir

جزوه الکترونیک ۱ استادی سنه (۱۳۹۰)

در تقویت کننده ی کلاس AB ، نقطه کار طوری بایاس شده است که تقویت کننده در آستانه روشن شدن قرار گرفته است.

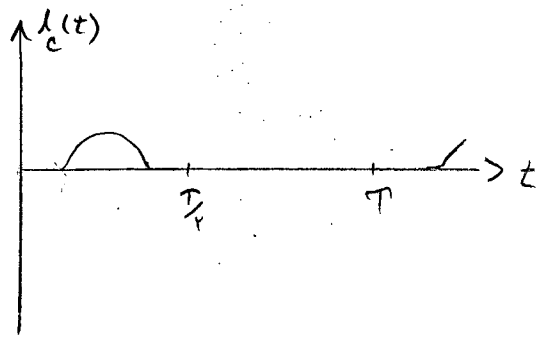
مدار اعمال سیگنال ورودی مثبت یا منفی (بسته به نوع تقویت کننده)



$$i_c(t) = \begin{cases} I_{cm} \sin \omega t & 0 < t < \frac{T}{2} \\ 0 & \text{در نقاط دیگر} \end{cases}$$

تقویت کننده کلاس C : ۱۰۰٪

در این نوع تقویت کننده نقطه کار طوری بایاس شده است که جریان خروجی در کمتر از نصف دوره تناوب غیر صفر است.



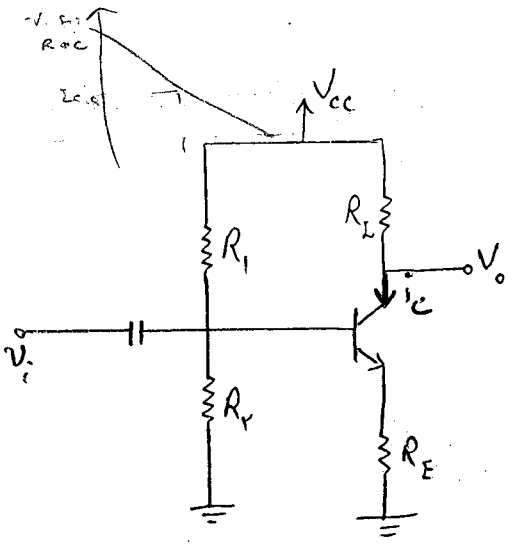
تقویت کننده کلاس C از نقطه بازده استفاده می کنند که فرکانس تغییر نمی کند.

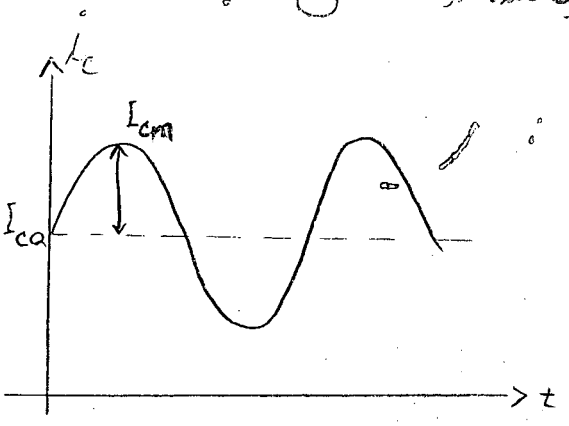
$$\eta_C > \eta_B > \eta_A$$

LearnElement.ir

www.bargh-arshad.com

تحلیل تقویت کننده قدرت کلاس A :





$$P_L = P_L(dc) + P_L(ac)$$

$$= R_L (I_{CQ})^2 + \frac{1}{2} R_L (I_{cm})^2$$

$$i_c(t) = i_c(dc) + i_c(ac)$$

$$i_c(t) = I_{CQ} + I_{cm} \sin \omega t$$

$$P_R = R \cdot I_e^2$$ معادل رابطه مسی

بهترین نقطه کار، $I_{CQ} = \frac{V_{cc} - V_{CE}(sat)}{R_{dc} + R_{ac}} \simeq \frac{V_{cc}}{R_{ac} + R_{dc}}$

$$\eta = \frac{P_L(ac)}{P_{cc} \sim V_{dc} \cdot I_{dc}}$$

$$\rightsquigarrow \eta = \frac{\frac{1}{2} R_L (I_{cm})^2}{V_{cc} \cdot I_{CQ}} = \frac{\frac{1}{2} R_L (I_{cm})^2}{(R_{ac} + R_{dc})(I_{CQ})^2} = \frac{R_L}{2(R_{dc} + R_{ac})} \left(\frac{I_m}{I_{CQ}}\right)^2$$

از رابطه بهترین نقطه کار داریم I_{cm}^2

اگر در بهترین نقطه کار باشیم $\rightarrow \eta_{max}$

$$\xrightarrow{I_{cm} = I_{CQ}} \frac{R_L}{2(R_{dc} + R_{ac})} \xrightarrow[\text{شرایط ایده‌آل}]{R_2 \gg R_E} \eta_{max} = \frac{1}{4} = 25\%$$

← تقویت کننده کلاس A در شرایطی که بهترین نقطه کار باشیم ($I_{cm} = I_{CQ}$ شرایط ایده‌آل) $R_L \gg R_E$ راندمان می‌تواند 25٪ شود.

$$P_{cc} = P_{\text{مقاومت‌ها}} + P_{\text{ترانزیستور}}$$

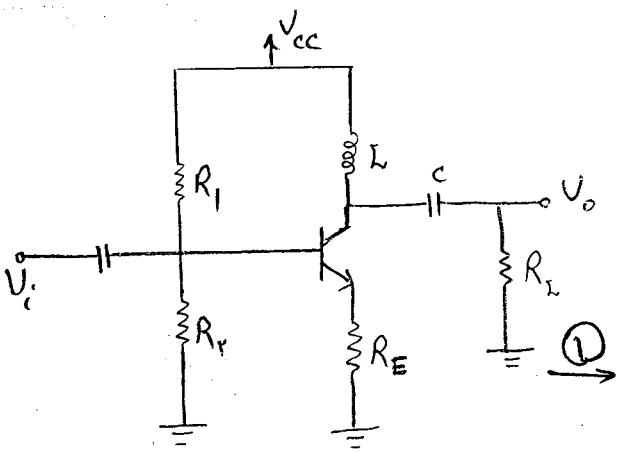
$$P_c = P_{cc}^{(dc)} - P_{\text{مقاومت‌ها}}^{(ac)} - P_{\text{مقاومت‌ها}}^{(dc)}$$ توان مصرفی ترانزیستور

$$\sim \quad = V_{cc} I_{CQ} - R_{dc} (I_{CQ})^2 - \frac{1}{2} R_{ac} (I_{cm})^2$$

LearnElement.ir

www.baryh-arshad.com

ب) کلاس A با تزویج سلفی:



$$R_{ac} = R_L + R_E$$

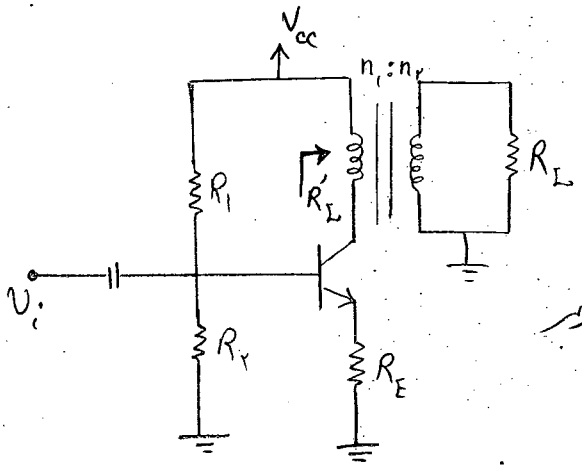
$$R_{dc} = R_E$$

① $\eta_{max} = \dfrac{R_L}{2(2R_E + R_L)}$ if $R_L \gg R_E$ $\eta = 1/2$ η_{max}

$$\eta_{max} = \frac{R_L}{2[R_{ac} + R_{dc}]} \quad ①$$

$\eta_{max} = 50\%$

ج) کلاس A (تزویج ترانزیستوری)



$$R'_L = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 R_L$$

در ترانس ایده‌آل باشد، $P_L = P_{L'}$ یعنی توان در سر اول ترانس برابر توان در طرف دوم ترانس است.

تمام روابط مانند کلاس A تزویج سلفی است و در ترانس ایده‌آل باشد: $(P_{R_L} = P_{R'_L})$

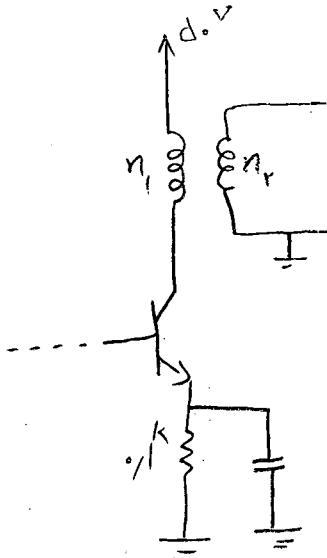
$R_L \rightsquigarrow R'_L$ ⇒ $\eta_{max} = \dfrac{R'_L}{2(2R_E + R'_L)}$ ← یعنی R'_L دست خودمان می‌شود. می‌توان تنظیم کرد که $\frac{n_1}{n_2}$ ترانس طوری شود تا راندمان بهتر شود.

LearnElement.ir

www.barghsharif.com

برق - ۸۲) حداکثر راندمان (η) در مدار زیر چند درصد است؟ ($I_{CQ}=100\ mA$)

۱) ۲۵ ۲) ۵۰ ۳) ۴۰ ۴) ۷۸



$$I_{CQ}=100mA \rightarrow 100=\frac{V_{CC}-V_{CE(sat)}}{R_{ac}+R_{dc}}$$

$$\rightsquigarrow 100=\frac{50}{(R'_L)+0.1^{k}}$$

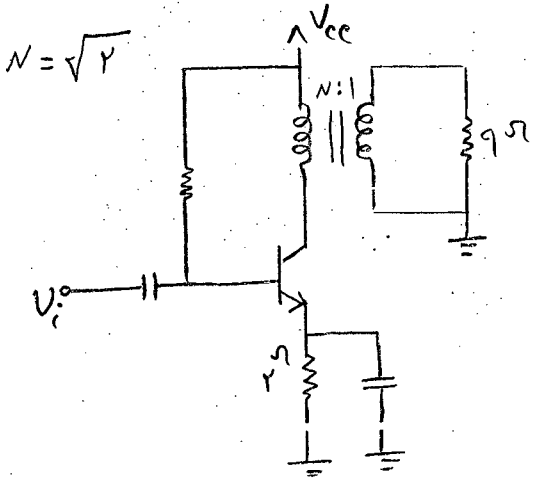
$$\rightarrow R'_L+0.1=0.5 \rightarrow \boxed{R'_L=0.4k}$$

$$\eta_{max}=\frac{R'_L}{2[R_{ac}+R_{dc}]}=\frac{0.4}{2[0.5]}$$

$$=\boxed{40\%}$$

برق - ۸۷) در تقویت کننده قدرت شکل مقابل حداکثر راندمان مدار چقدر است. دامنه اشباع ترانزیستور صفر فرض می شود.

۱) ۴۵٪ ۲) ۴۲٫۵٪ ۳) ۴۷٫۵٪ ۴) ۵۰٪



$$\eta_{max}=\frac{R'_L}{2[R_{ac}+R_{dc}]}$$

$$R_{dc}=\boxed{2}$$

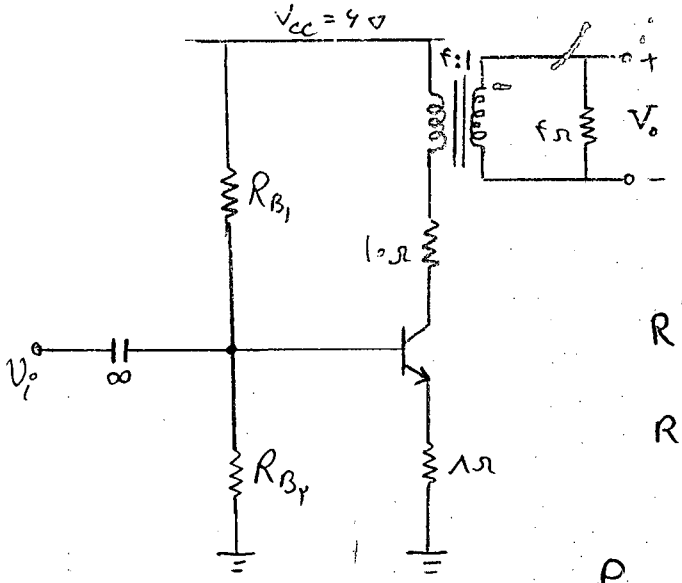
$$R_{ac}=\left(\frac{\sqrt{2}}{1}\right)^2\times 9=\boxed{18} \qquad \boxed{R'_L=18}$$

$$\eta_{max}=\frac{18}{2[18+2]}=45\%$$

LearnElement.ir

www.bargh-arshad.com

اتاسیون - ۹۰) در مدار شکل مقابل، حداکثر توان تحویلی به خروجی چند وات است؟



۱) ۰/۱۱

۲) ۰/۲۲

۳) ۰/۴۴

۴) ۰/۸۸

$$R'_L = \left(\frac{4}{1}\right)^2 R_L$$

$$R'_L = 16 \times 4 = \boxed{64}$$

$$\boxed{R_{ac} = 64 + 10 + 8}$$

$$\boxed{R_{dc} = 18}$$

$$P_L = \frac{1}{2} \cdot R'_L \cdot I_{cm}^2$$

$$P_{L(max)} \xrightarrow{I_{cm} = I_{CQ}} 1/2\, R'_L \cdot I_{CQ}^2$$

$$I_{CQ} = \frac{V_{CC} - V_{CE(Sat)}}{R_{ac} + R_{dc}} = \frac{6}{(64+18)+(18)} = \boxed{0.064}$$

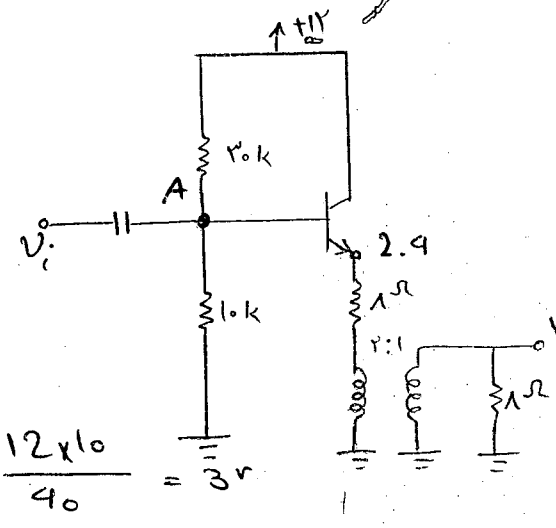
$$P_{L(max)} = 1/2 \cdot 64 \times \frac{36}{10^4} = \boxed{0.11}$$

LearnElement.ir

جزوه الکترونیک استاد بحرینی (تابستان ۱۳۹۰)

برق-۷۷) در مدار شکل زیر با فرض ایده‌آل بودن ترانزیستور ماکزیمم توان تحویل شده به بار کدام است؟

(β خیلی زیاد ، $V_{BE}=0.7$ ، $V_{CE(sat)}=0$)



۱) ۲٫۲۵W ۲) ۱٫۴۴W ۳) ۰٫۹۲W ۴) ۰٫۳۶W

$R_{ac} = 8 + R'_L = 90$

$R'_L = (\frac{2}{1})^2 (8\Omega) = 32$

$P_{R_L} = P_{R'_L} = P_L = \frac{1}{2} \cdot R'_L \cdot I_{cm}^2 = \frac{1}{2} \times 32 \times (\frac{2.9}{10})^2 = 0.92W$

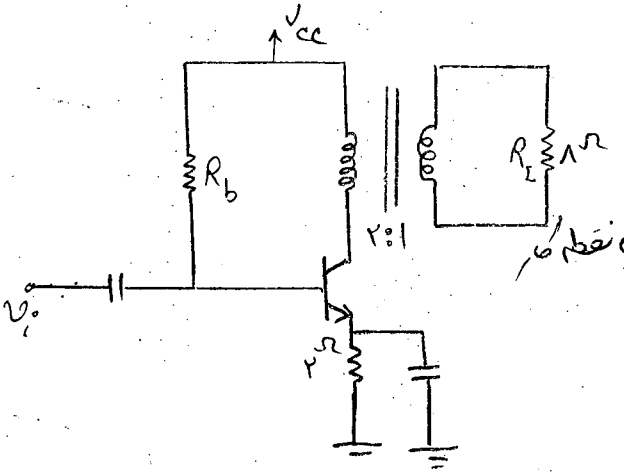
$I_{cm} = \min[0.3, 0.29] = 0.29$ (i_c^- ، i_c^+)

$V_A = \frac{12 \times 10}{90} = 3V$

$I_{CQ} = \frac{2.9}{8\Omega} = 0.3A = i_c^-$

$V_{CEQ} = 12 - 2.9 = 9.6V$ ، $R_{ac} = 90$ $\rightarrow \frac{V_{CEQ}}{R_{ac}} = \frac{9.6}{90} = 0.29A = i_c^+$

برق-۸۱) در مدار شکل زیر با فرض $\beta = h_{fe} = 50$ ، $V_{BE} \ll V_{cc}$ برای ماکزیمم راندمان، مقدار مقاومت R_b تقریباً چند کیلواهم است؟



۱) ۱٫۷۵ ۲) ۳ ۳) ۶ ۴) ۱٫۵

بهترین نقطه کار $I_{CQ} = \frac{V_{cc} - V_{CE(sat)}}{R_{ac} + R_{dc}} = \frac{V_{cc}}{(32)+(2)} = \frac{V_{cc}}{39}$

$I_{CQ} = \frac{V_{cc} - V_{BE}}{2 + \frac{R_B}{\beta}} = \frac{V_{cc}}{39}$

$\frac{V_{cc}}{2 + \frac{R_b}{\beta}} = \frac{V_{cc}}{39} \rightarrow \frac{R_b}{\beta} = 32$

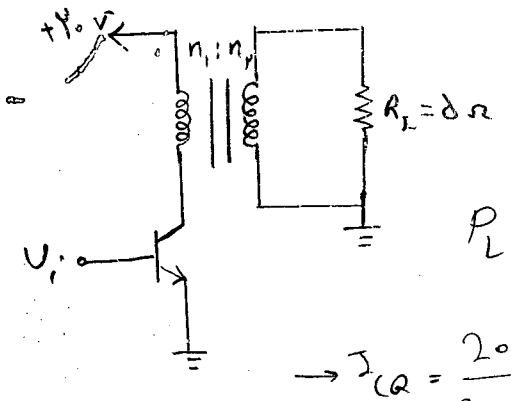
$\rightarrow R_b = 32 \times 50 = 1.5k\Omega$

LearnElement.ir

اتوماسیون - ۸۷) تقویت کننده کلاس A شکل زیر توان خروجی ۱۰W را به مقاومت $R_L = 5\Omega$ انتقال می‌کند

نسبت $\frac{n_2}{n_1}$ عبارت است از:

۱) ۰/۵ ۲) ۱ ۳) ۲ ۴) ۴



$$P_L = \frac{1}{2} \times R'_L \times (I_{cm})^2 = 10\ W$$

$$\rightarrow I_{CQ} = \frac{20 - 0}{R_{dc} + R_{ac}} = \frac{20}{(\frac{n_1}{n_2})^2 \times 1} = \frac{4}{(\frac{n_1}{n_2})^2}$$

$$\rightarrow \frac{1}{2} \times 5 \times \frac{4^2}{(\frac{n_1}{n_2})^2} = 10\ W$$

$$\Rightarrow \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{2}$$

$$10 = \frac{1}{2} \times \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \times 5 \times \frac{16}{(\frac{n_1}{n_2})^2} \Rightarrow \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 = 4 \Rightarrow \frac{n_1}{n_2} = 2$$

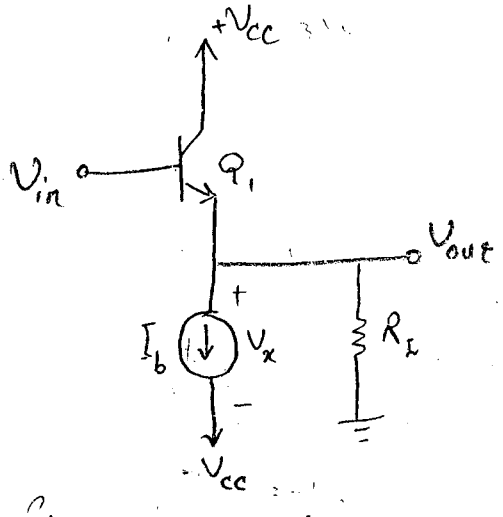
$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{2}$$

LearnElement.ir

جزوه الکترونیک ۱ استاد بابستانی (تابستان ۱۳۹۰)

تقویت کننده کلکتور مشترک به عنوان تقویت کننده قدرت:

در صورتیکه فرض کنیم ورودی V_{in} طوری تنظیم شده است که V_{out} از نظر ولتاژ DC برابر با صفر باشد، جهت محاسبه حداکثر تغییرات ولتاژ خروجی در حالت پیک مثبت و منفی ابتدا بایستی محدودیتهای آنرا بدست آوریم:



محدودیت اشباع Q_1:

$$V_{out} = -V_{cc} - V_{CE(sat)}$$

محدودیت قطع:

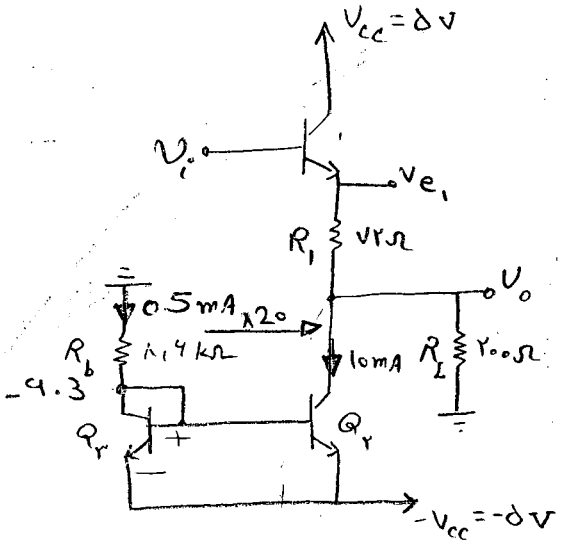
$$V_{out} = -R_L I_b$$

محدودیت اشباع شدن I_b:

$$V_{out} = -V_{cc} - V_x$$

LearnElement.ir

۸۹) در مدار شکل مقابل ساخت دیفرانسیل - امیتر ترانزیستورهای Q_1 و Q_2 برابر ساخت پوش پول - امیتر ترانزیستور Q_3 است. حداکثر راندمان توان چقدر است؟



$\beta \gg 1$

$V_{CE(sat)} = 0.2\ V$

$V_{BE(on)} = 0.7\ V$

$A_{E_{1,2}} = 20\, A_{E_3}$

۱) ٪۱۰

۲) ٪۱۵

۳) ٪۱۸.۵

۴) ٪۲۲.۵

حل)

$$\hat{V}_{e_1}^{+} = 5 - 0.2 \simeq 4.8$$

محدودیت اشباع Q_1: $\hat{V}_o^{+}(max) = \frac{200}{200+72} \times 4.8 \simeq 3.5^{V}$

محدودیت Q_2: $\hat{V}_o^{-}(max) = -5 + 0.2 = -4.8$

محدودیت جریان دهی: $\hat{V}_o^{-} = -I_b \times R_L = -10^{mA} \times 0.2^{k} = 2^{V}$

مدار دهی برای با محدودیت اجا دهی کند.

متقارن $\hat{V}_o(max) = 2^{V} \longrightarrow P_L = \frac{1}{2} \times R_L \cdot (\hat{I}_L)^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{(\hat{V}_o)^2}{R_L} = \frac{1}{2} \times \frac{4}{200} = 0.01W$

$$\longrightarrow P_{CC} = 2 \times 5 \times \frac{10^{A}}{100} = 0.1 watt$$

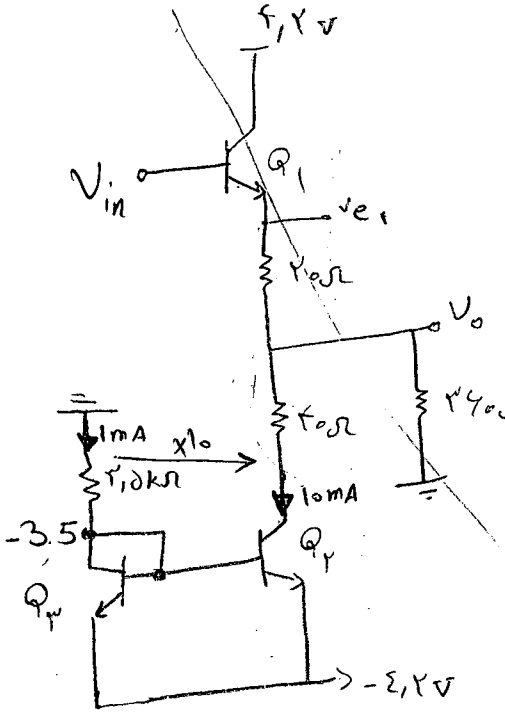
$$\eta = \frac{P_L}{P_{CC}} = \frac{0.01 watt}{0.1\ watt} = 10\%$$

LearnElement.ir

www.baryh-arshad.com

سؤال ۸۹) در مدار شکل مقابل ساعت بیرون بیس-امیتر ترانزیستورهای Q_1 و Q_2 ده برابر ساعت بیس-امیتر ترانزیستور Q_3 است. دامنهٔ حداکثر خروجی v_o در حالت حداکثر ارتمان توان مدار برحسب ولت کدام است؟ ($\beta \gg 1$ ، $V_{CE(sat)} = 0.2\,V$ ، $V_{BE(on)} = 0.7\,V$ ، $A_{E_{1,2}} = 10\,A_{E_3}$)

۱) ۳٫۲ ۲) ۳٫۸ ۳) ۴٫۶ ۴) ۴



R_{ac} در مقدار $\hat{v}$ تأثیری ندارد.

از R_{ac} این قسمت از مدار، مدار باز است پس در R_{ac} بی‌تأثیر است.

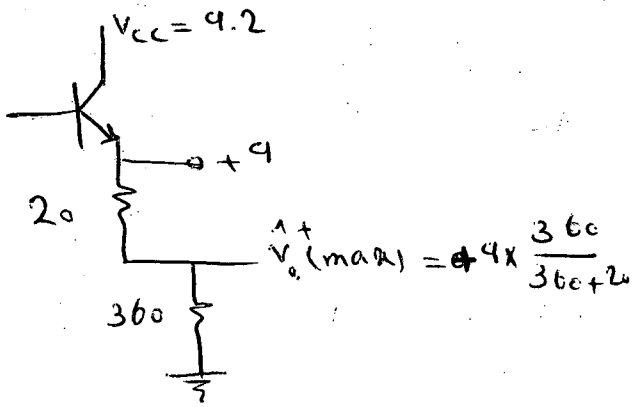
$$\hat{v}_{e_1}^{+} = 9.2 - 0.2 = 9$$

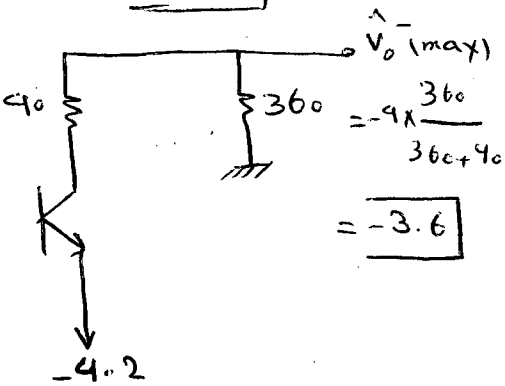
محدودیت اشباع Q_1 : $\hat{v}_{o(max)}^{+} = \frac{360}{360+20} \times 9 = +3.8$

محدودیت اشباع Q_2 : $\hat{v}_{o(max)}^{-} = -9 \times \frac{360}{360+90} = -3.6$

محدودیت جریان دهی : $\hat{v}_o^{-} = -I_b \times R_L = -10^{mA} \times 0.36 = -3.6$

Min





LearnElement.ir

مجموعه الکترونیک استادیاری (آذر ۱۳۹۰)

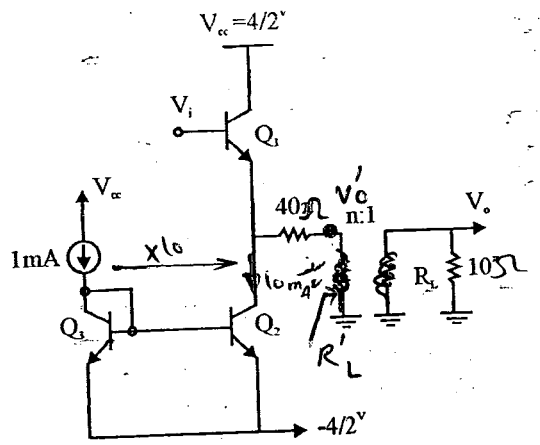
اتوماسیون - ۸۸) در مدار تقویت‌کننده توان شکل مقابل، مساحت پیوند بیس - امیتر ترانزیستور Q_2 ده برابر Q_3 است. حداکثر راندمان توان آن تقریباً چقدر است؟ $V_{CE(Sat)} = 0.2$

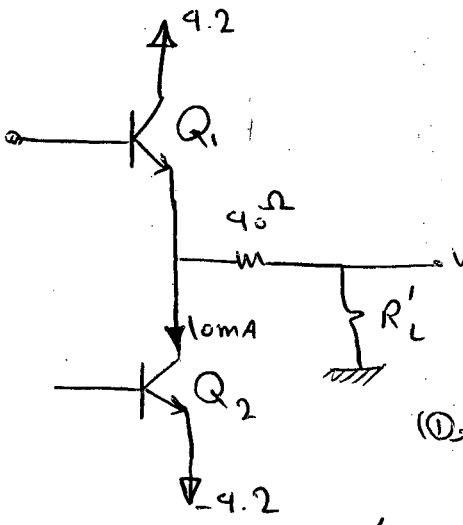
۱) $\eta_{max} = ۱۶/۸\%$

۲) $\eta_{max} = ۱۸/۷\%$

۳) $\eta_{max} = ۲۱/۴\%$

۴) $\eta_{max} = ۲۳/۶\%$





Q_1 محدودیت اشباع: $\hat{V}_o'^{(+)} = +9\left(\frac{R'}{R'_L+90}\right)$ ①

Q_2 " " : $\hat{V}_o'^{(-)} = -9\left(\frac{R'_L}{R'_L+90}\right)$

محدودیت جریان دهی: $\hat{V}_o'^{(-)} = 0.01 \times R'_L$ ②

برای اینکه بهترین راندمان را داشته باشیم بهتر است هر دو در لبه باشند (①و②)

ترانس ایده‌آل فرض شود

راندمان ترانس را در راندمان ضرب کرده محدودیت می‌گذاریم تا مقدار کجای بیشتر بیاید

برای ماکزیمم راندمان $\Rightarrow \left|\hat{V}_o'^{(-)}\right| = \hat{V}_o^{(+)}$

$$\Rightarrow \frac{1}{100} \times R'_L = \frac{9R'_L}{R'_L+90}$$

$$\rightarrow R'_L + 90 = 900 \rightarrow R'_L = 360$$

$$\rightarrow 10n^2 = 360 \rightarrow \boxed{n=6}$$

$$\hat{V}_o^{(+)} = \left|\hat{V}_o'^{(-)}\right| = 0.01 \times 360 = 3.6\,V$$

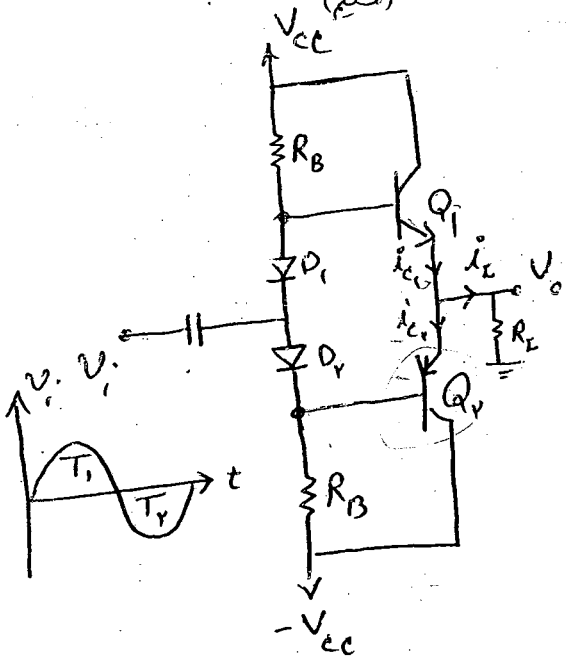
$$\eta_{V_o'} = \frac{\frac{1}{2}\frac{(\hat{V}_o')^2}{R_L}}{2 \times 9.2 \times \frac{10}{1000}} = \frac{\frac{1}{2} \times \frac{(3.6)^2}{360}}{\frac{1}{100} \times 9.2 \times 10^{-2}} = \frac{\frac{36 \times 36}{360} \times 10^{-2}}{9.2 \times 10^{-2}} = \frac{36}{4 \times 42} = 21.4\%$$

LearnElement.ir

تقویت کننده کلاس B یا AB در فرم پوش-پول : دیودها همیشه در حالت وصل است چون افتاد آن $2V_{cc}$ است. (مستقیم)

V_o در حالت dc چون جریانی نداریم صفر است.

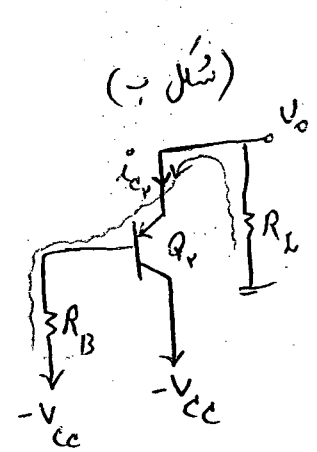
در تقویت کننده شکل روبرو در حالت DC :

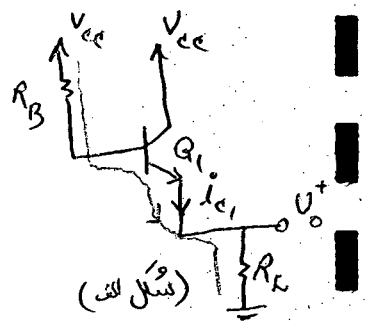


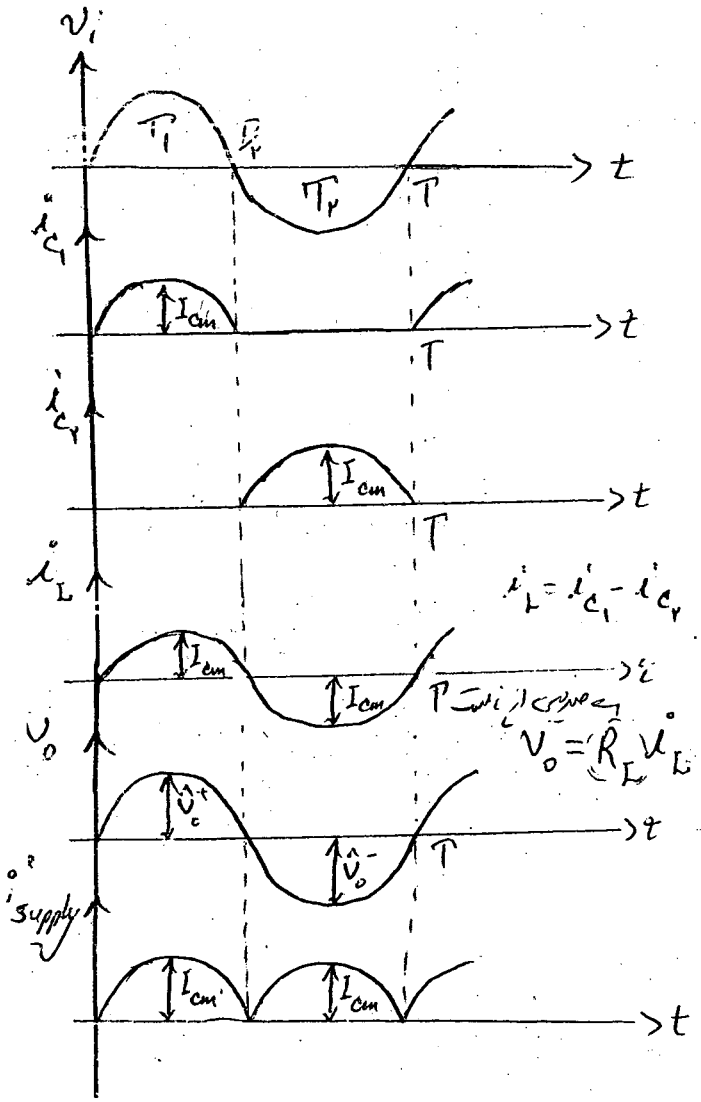
ترانزیستورهای Q_1 و Q_2 توسط دیودهای D_1 و D_2 در آستانه روشن شدن قرار گرفته شده اند و با اعمال سیگنال ورودی روشن می شوند.

در نیم سیکل مثبت ورودی (T_1) ترانزیستور Q_1 روشن شده و ترانزیستور Q_2 خاموش می ماند شکل (الف)

در نیم سیکل منفی ورودی (T_2) ترانزیستور Q_1 خاموش شده و ترانزیستور Q_2 روشن می شود (شکل ب)







$V_o = R_L i_L$ بیشترین است $\rightarrow P_L = \frac{1}{2} R_L \cdot I_{cm}^2 = \frac{1}{2} \frac{\hat{V}_o^2}{R_L}$

$$P_{cc} = V_{dc} \cdot I_{dc} = V_{cc} \cdot \frac{2}{\pi} I_{cm}$$

بازده: $\eta = \frac{P_L(ac)}{P_{cc}} = \frac{\frac{1}{2}\left(\frac{\hat{V}_o^2}{R_L}\right)}{\frac{2}{\pi} V_{cc} \cdot I_{cm}} = \frac{\pi}{4} \frac{\hat{V}_o}{V_{cc}}$ $\quad V_o = V_{cc}$ $\rightarrow \eta_{max} = 78.5\%$

LearnElement.ir

$P_C = V_{CE} \times I_{CQ}$

محاسبه توان مصرفی ترانزیستورها:

$$P_{C_T} = P_{C_1} + P_{C_2} = 2P_C = P_{CC} - P_L$$

$$P_{C_T} = P_{CC} - P_L \longrightarrow P_{CT} = \frac{2}{\pi} V_{CC} I_{cm} - \frac{1}{2} R_L \cdot I_{cm}^2$$

$P_{C(max)} = ?$

$$\frac{dP_{CT}}{dI_{cm}} = 0 \longrightarrow \frac{2}{\pi} V_{CC} - R_L I_{cm} = 0 \longrightarrow \boxed{I_{cm} = \frac{2}{\pi} \frac{V_{CC}}{R_L}}, \quad \boxed{\hat{V}_o = \frac{2}{\pi} V_{CC}}$$

$$P_{CT} = \frac{2}{\pi} V_{CC} \times \frac{2}{\pi} \frac{V_{CC}}{R_L} - \frac{1}{2} R_L \left(\frac{2}{\pi} \frac{V_{CC}}{R_L}\right)^2$$

حداکثر

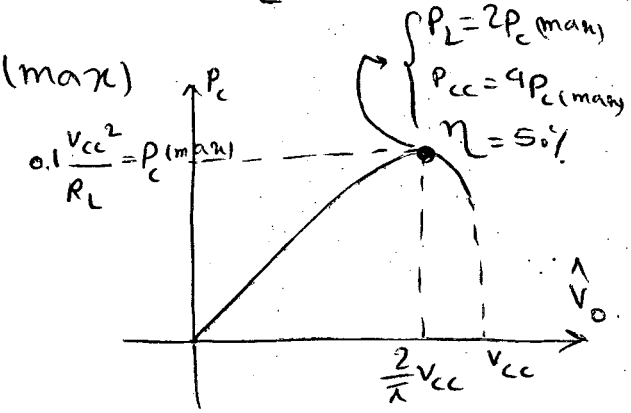
$$P_{CT} = \frac{2}{\pi^2} \frac{V_{CC}^2}{R_L} = 2P_C \longrightarrow \boxed{P_{C(max)} = \frac{1}{\pi^2} \frac{V_{CC}^2}{R_L} = 0.1 \frac{V_{CC}^2}{R_L}}$$

در نقطه‌ای که ولتاژ مصرفی ترانزیستورها ماکزیمم است

$$\rightarrow P_L = \frac{1}{2} R_L \left(\frac{2}{\pi} \frac{V_{CC}}{R_L}\right)^2 = \frac{2}{\pi^2} \frac{V_{CC}^2}{R_L} = 2P_{C(max)}$$

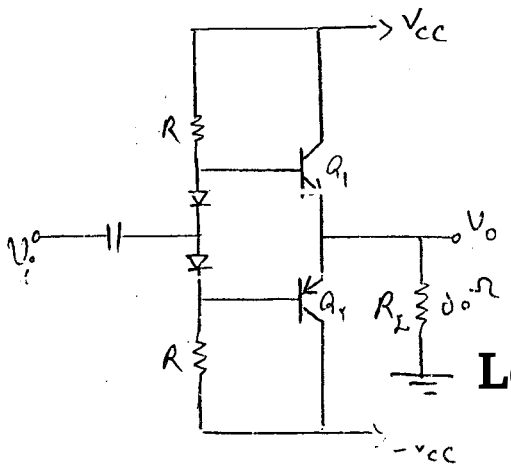
$$\longrightarrow P_{CC} = P_{C_T} + P_L = 2P_C + 2P_C = 4P_{C(max)}$$

$$\eta = \frac{P_L}{P_{CC}} = \frac{2P_{C(max)}}{4P_{C(max)}} = 0.5 = 50\%$$



کاردانی - کارشناسی - ۸۸) با توجه به شکل مقابل V_{CC} را چند ولت انتخاب کنیم تا ماکزیمم توان تلف شده در هر ترانزیستور، ۵ وات شود؟

۱) ۲۵ **۲) ۵۰** ۳) ۷۵ ۴) ۱۰۰



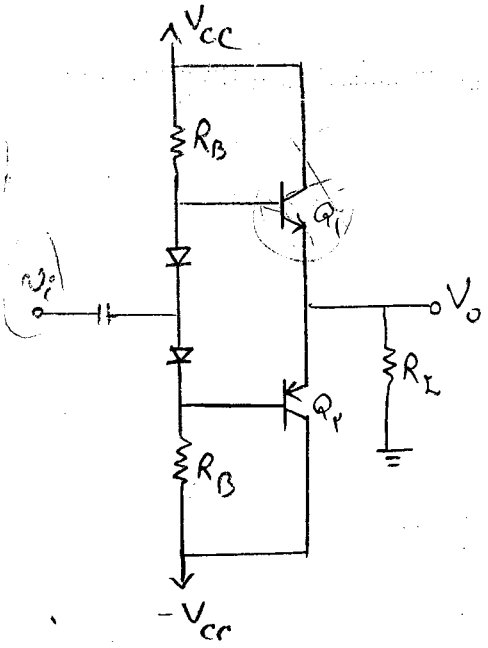
$$P_{C(max)} = 0.1 \frac{V_{CC}^2}{R_L} = 5$$

$$0.1 \times \frac{V_{CC}^2}{50} = 5$$

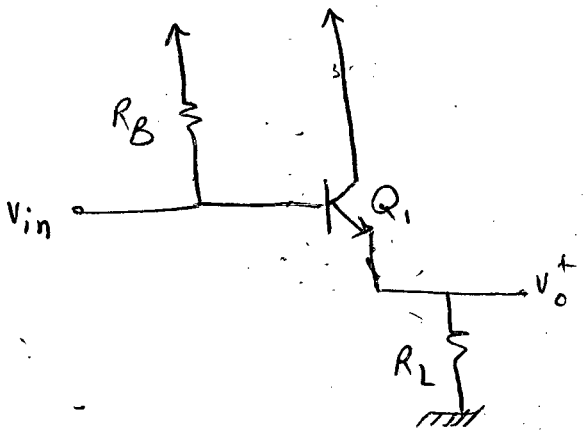
$$\rightarrow V_{CC} = \sqrt{\frac{50 \times 5}{0.1}} = 50$$

LearnElement.ir

تحلیل مدار:

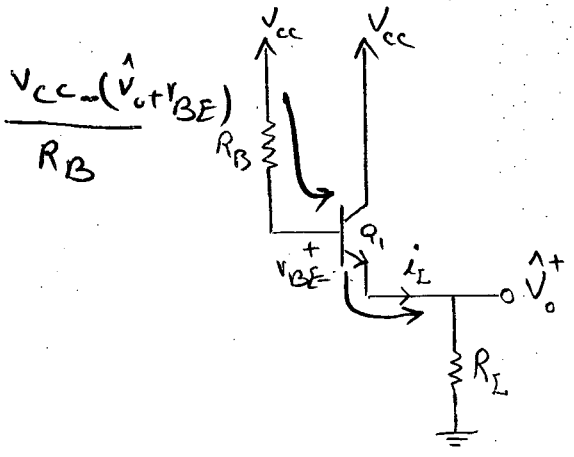


مدار روبرو در لحظهٔ پیک مثبت به صورت زیراست:



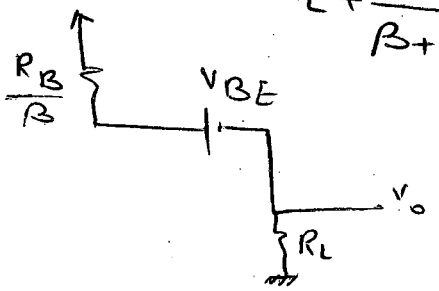
عوامل محدودیت افزایش پیک مثبت ولتاژ خروجی ($\hat{V}_o$):

عامل اول: محدودیت در جریان دهی بیس ترانزیستور Q_1:



$$\hat{V}_o = R_L \hat{i}_L^+ = R_L \left[\frac{V_{CC} - (\hat{V}_o + V_{BE})}{R_B} \times (\beta + 1) \right]$$

$$\Rightarrow \hat{V}_o = (V_{CC} - V_{BE}) \times \frac{R_L}{R_L + \frac{R_B}{\beta + 1}}$$



عامل دوم: محدودیت در اشباع ترانزیستور Q_1:

$$\hat{V}_o^+ = V_{CC} - V_{CE(sat)}$$

بنابراین ماکزیمم پیک ولتاژ خروجی را از رابطهٔ زیری توان بدست آورد:

محدودیت جریان بیس

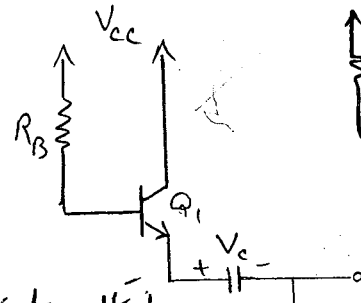
$$\hat{V}_o^+ = (V_{CC} - V_{BE}) \Big/ \left(R_L + \frac{R_B}{\beta} \right)$$

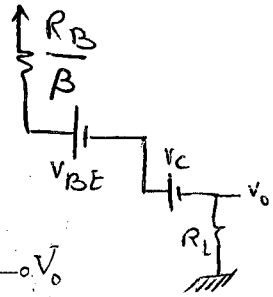
محدودیت اول $\Rightarrow \hat{V}^+ = V_{CC} - V_{CE}$

LearnElement.ir

www.barghi-arshad.com

نکته: یکی از معایب تقویت کننده‌های پوش پول استفاده از دو منبع تغذیه است. برای حل این مشکل می‌توان از یک خازن با ظرفیت زیاد استفاده نمود تا در نیم سیکل منفی نقش منبع تغذیه منفی را ایفا کند.





$$\hat{V}_o = R_L \cdot \hat{i}_L = R_L \left[\frac{V_{CC} - (\hat{v}_o + V_{BE} + V_c)}{R_B} \times (\beta + 1) \right] \Rightarrow$$

از کلاس dc باید V_c را بدست آوریم

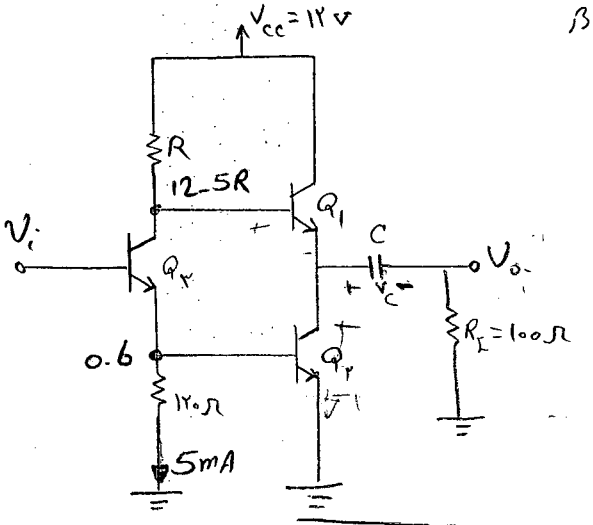
حداکثر دامنه خروجی مثبت $\hat{V}_o^+ = (V_{CC} - V_{BE} - V_c)\left(\frac{R_L}{R_L + \frac{R_B}{\beta+1}}\right)$

Q_1 اشباع $\hat{V}_o^- = V_{CC} - V_{CE(Sat)} - V_c$

$$\hat{V}_o = (V_{CC} - V_{BE} - V_c) \frac{R_L}{R_L + \frac{R_B}{\beta+1}}$$

(برق ۷۸) در مدار نشان داده شده در شکل زیر R را طوری تعیین کنید که مقدار دامنه‌های مثبت و منفی بدون بریده شدن خروجی باهم یکسان گردد.

$\beta = 99$, $|V_{CE(SAT)}| = 0.4\,V$, $|V_{BE(SAT)}| = 0.6\,V$



$$V_c = (12 - 5R) - 0.6 = 11.4 - 5R$$

۱) $1.2\,k\Omega$

۲) $2.4\,k\Omega$

۳) 600Ω

۴) به ازاء هیچ مقداری از R نمی‌توان مقدار دامنه‌های مثبت و منفی خروجی بدون بریده شدن را یکسان نمود

توجه: محدودیت حرکت دهی $\hat{V}_o^+$ باید بدست آوریم.

اگر می‌خواهید احتیاط اشتباه است در ابتدا بیشتر از حرکت دهی می‌شود پس بدست نمی‌خواهد آمد.

محدودیت حرکت دهی $\hat{V}_o^+ = (V_{CC} - V_{BE} - V_c) \frac{R_L}{R_L + \frac{R}{\beta+1}} = 5R \times \frac{0.1^k}{0.1^k + \frac{R}{100}} = \frac{50R}{R+10}$

چون اندازه در Q_2 صدق می‌شود

محدودیت اشباع Q_2: $\hat{V}_o^- = -V_c + 0.4 = -10.6 + 5R < 0$

$$|\hat{V}_o^-| = |\hat{V}_o^+| \Rightarrow 10.6 - 5R = \frac{50R}{R+10}$$

LearnElement.ir

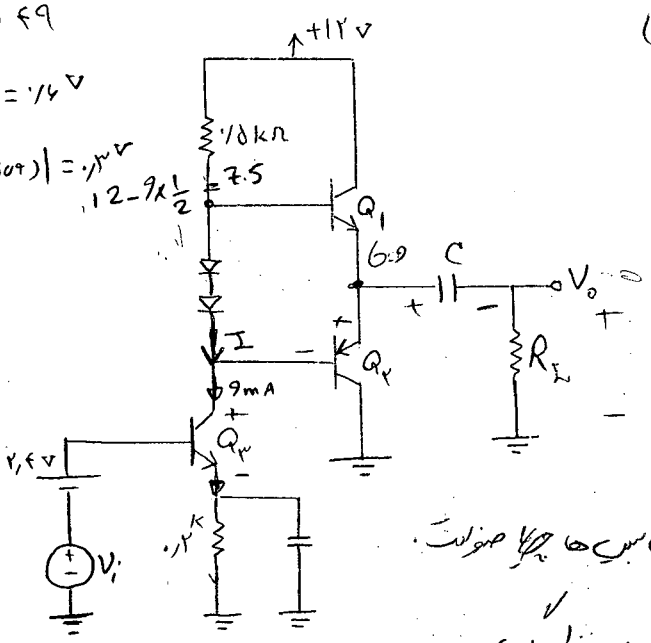
$$\rightarrow R = 1.02\,k\Omega$$

برق - ۸۰) در مدار نشان داده شده در شکل زیر با فرض اینکه ترانزیستورهای مدار دارای مشخصات یکسان زیر بوده و دیودها دارای $V_D = 0.6\,V$ باشند، به ازای چه مقداری از R_L حداکثر دامنهٔ خروجی بدون بریده شدن در نیم‌سیکل‌های مثبت و منفی برابر خواهد بود؟ (از خازن‌های مدار بزرگ فرض می‌شوند)

$\beta = 49$

$|V_{BE}| = 0.6\,V$

$|V_{CE(sat)}| = 0.3\,V$



۱) $\approx 7\,\Omega$

۲) $\approx 56\,\Omega$

۳) $\approx 140\,\Omega$

۴) به ازاء هیچ مقداری از R_L این دو دامنه یکسان نخواهد بود

I را بدست می‌آوریم. بعد r_e بدست می‌آید. در حالت dc جریان سلف‌ها چگونه است.

در حالت $\hat{v}_o^+$ هم باید اشباع Q_2 و هم اشباع Q_3 را در نظر بگیریم.

بعد نیکه می‌رسیم در مداراتی که به این شکل بسته شده‌اند Q_3 زودتر Q_2 اشباع می‌شود.

محدودیت مربوط به دامنه مثبت (+) $\rightarrow \hat{v}_o^+ = \dfrac{12 - 0.6 - V_c}{\frac{0.5}{50} + R_L} \times R_L = (2)$

$$\hat{v}_o^- = 0.8 + 0.3 + (2.4 - 0.6) - \frac{V_c}{6.9} = -4.2 \quad (1)$$

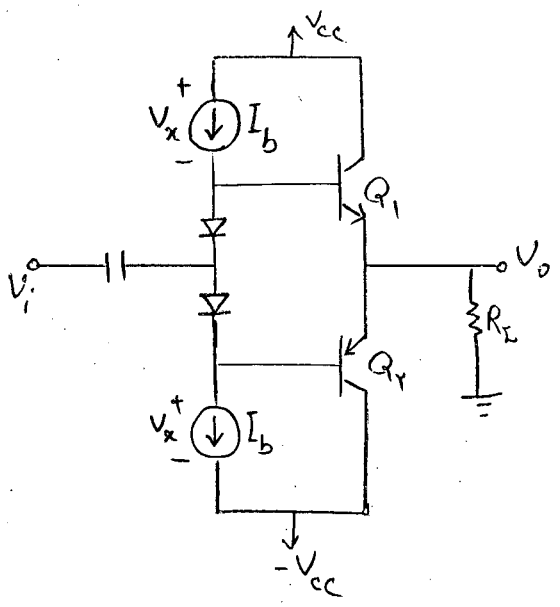
بدست آوردن r_e $\xrightarrow{DC}$ $v_o = 0 \rightarrow V_c = 6.9$

$$\rightsquigarrow 4.2 = \frac{12 - 0.6 - 6.9}{\frac{5}{500} + R_L} \times R_L \Rightarrow 4.2 \times \left(\frac{5}{500} + R_L\right) = 4.5\,R_L$$

$$\frac{4.2 \times 8}{896} = 0.3\,R_L \rightarrow R_L = 140\,\Omega$$

LearnElement.ir

نکته: جهت بهبود شکل جریان دهی به جای مقاومت R_B از منبع جریان مطابق شکل زیر در مدار پوش-پول استفاده می‌کنیم:



عوامل محدود کننده‌ی افزایش دینامیک ولتاژ خروجی ($\hat{V}_o$):

۱) اشباع شدن ترانزیستور Q_1 (در سیکل مثبت) یا Q_2 (در سیکل منفی)

$$\hat{V}_o^+ = V_{CC} - V_{CE_{1,2}(Sat)}$$

۲) محدودیت جریان دهی بیس ترانزیستورهای خروجی

$$\hat{V}_o^+ = R_L(\beta+1)I_b$$

MIN

۳) اشباع شدن منبع جریان I_b:

$$\hat{V}_o^+ = V_{CC} - V_{BE} - V_x$$

توجه: اگر $V_x \geq V_{CE(sat)}$ باشد حتماً عامل ۳ زودتر از عامل ۱ اتفاق می‌افتد

LearnElement.ir

نکته: تمامی موارد فوق در صورتی قابل بررسی هستند که سیگنال ورودی V_i به اندازه‌ی کافی بزرگ باشد تا بتواند محدودیت‌ها را

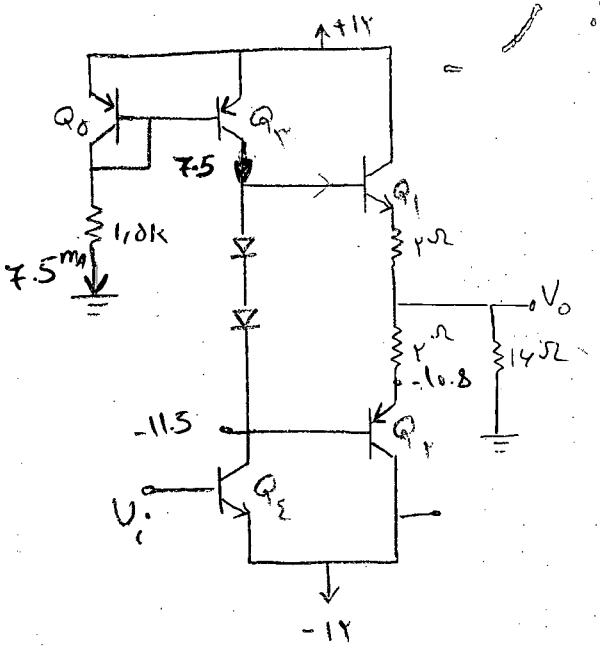
www.barqh-arshad.com

$|V_{BE}| = 0.7V$ ، $|V_{CE(sat)}| = 0.2V$

$\beta_1 = \beta_2 = 50$ ، $\beta_3 = \beta_4 = \beta_Q = 200$

- برق ۸۳) در طبقهٔ خروجی نشان داده شده در شکل مقابل مرغوب کنید

اندازه حداکثر نوسان مثبت و منفی برابر است با:



۱) $MS^+ = 9.4$ ، $MS^- = 10.22$

۲) $MS^+ = 9.4$ ، $MS^- = 4.14$

۳) $MS^+ = 10.22$ ، $MS^- = 9.4$

۴) $MS^+ = 4.14$ ، $MS^- = 9.4$

اول باید مقدار منبع جریان را بدست آوریم.

در این مدت معمولاً با اثر محدودیت جریان دهی بررسی می‌شود. یا این محدودیت اشباع؟

محدودیت جریان دهی:

$$\hat{V}_o^+ = R_L(\beta+1)I_b = 16 \times 50 \times \frac{7.5}{1000} = \frac{9}{5} \times 7.5 = 6^V$$

محدودیت اشباع منبع جریان:

$$\hat{V}_o^+ = \frac{16}{16+2}\hat{V}_e^+ = \frac{16}{18} \times 10.8 = 9.6$$

$\hat{V}_e^+ = 11.5 \leftarrow$ اشباع Q_1

$\hat{V}_e^+ = 10.8 \leftarrow$ // R_3

$$Min\,\hat{V}_o^+ = MS^+ = +6^V$$

محدودیت اشباع Q_4 ← $\hat{V}_o^-$ بررسی می‌شود

$$\hat{V}_o^- = V_{e_2} \times \frac{16}{16+2} = V_{e_2} \times \frac{16}{18} = -10.8 \times \frac{16}{18} = -9.6$$

$$MS^- = -9.6$$

LearnElement.ir

برق ۸۴) در تقویت کننده قدرت، حداکثر مقدار توان بار، P_L، را حساب کنید.

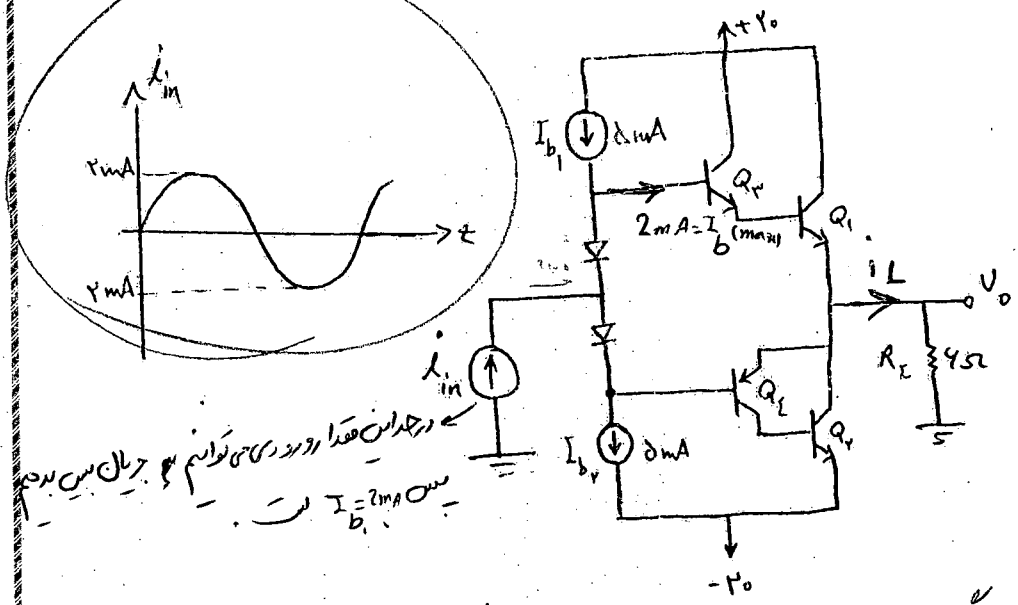
($i_i = 2mA\sin\omega t$ ، $\beta_{1,2} = 10$ ، $\beta_{3,4} = 100$ ، $R_L = 4\Omega$)

۱) ۳۲ w

۲) ۱۸ w

۳) ۵ w

۴) ۱۲ w



در حداکثر مقدار ورودی می‌توانیم جریان بین بیس Q_1 و Q_2 را $I_{b_1} = 2mA$ در نظر بگیریم.

تا اینجا ورودیت ورودی را در نظر گرفتیم. در این سوال برای ورودی حداکثر مقدار در نظر گرفته شده است.

$$\hat{V}_o^+ = 6 \times [\beta_1 \times \beta_3 \times i_b]_{(max)} = 6 \times 10 \times 100 \times \frac{2}{1000}$$

$$= 12$$

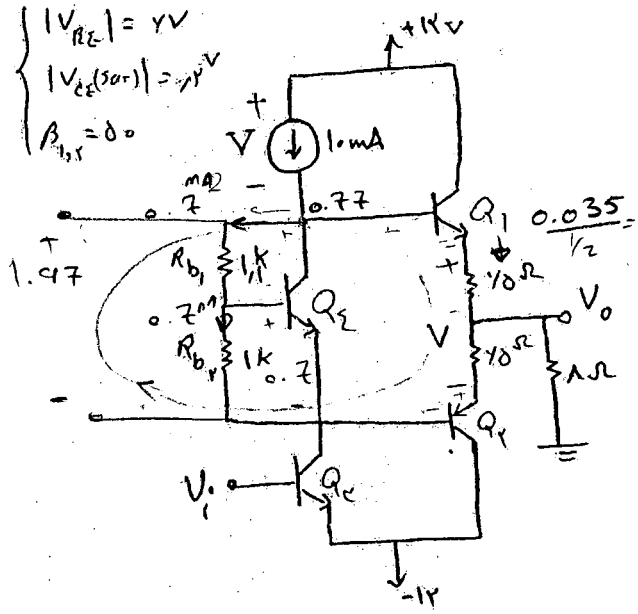
$$P_L = \frac{1}{2} \frac{(\hat{V}_o^+)^2}{R_L} = \frac{1}{2} \times \frac{12 \times 12}{6} = 12W$$

LearnElement.ir

جزوه الکترونیک — علیرضا باغستانی

۵۶/ برق ـ ۱۶) منبع جریان در شکل زیر برای عملکرد صحیح حداقل به ۲ ولت افت ولتاژ نیاز دارد ($V_{min}=2V$) حداکثر دامنه ولتاژ خروجی و جریان بایاس کلکتور های Q_1 و Q_2 به ترتیب به کدام گزینه نزدیک تر است؟

$|V_{BE}| = 0.7V$
$|V_{CE(sat)}| = 0.2V$
$\beta_{1,2} = 50$



1.97
0.7mA

$0.035 / \frac{1}{2} = 0.07A = 70mA$

۱) 50 mA , 4V
۲) 50 mA , 1.0V
۳) 75 mA , 4V
۴) 70 mA , 1.0V

$\frac{12 - 2 - 0.7 \times 8}{80} = 0.1$ → $V_{o_{min}} = 9$

$-V - 0.7 + 1.97 - 0.7 = 0$

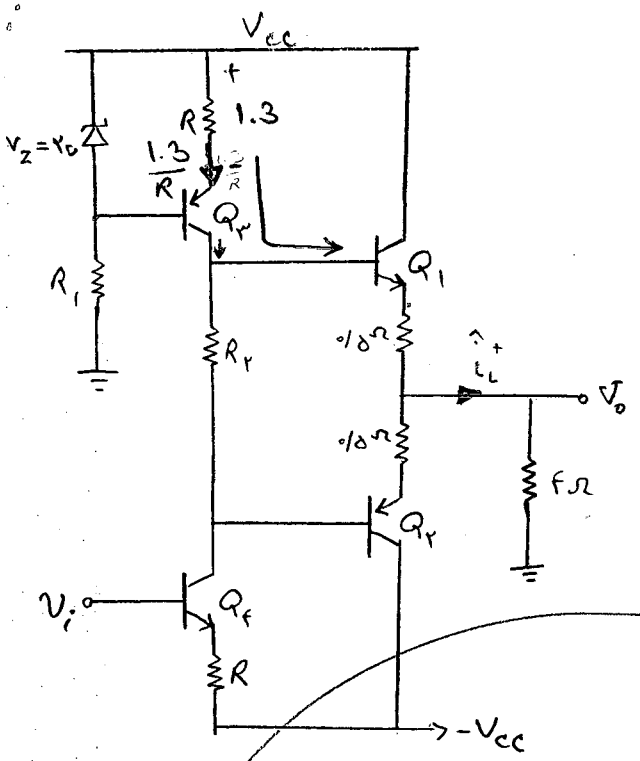
$V = 0.07$ → $V_{0.5} = \frac{0.07 \times \frac{1}{2}}{1} = 0.035$

$\frac{11.3 \times 3}{8.5}$

LearnElement.ir

برق ۹۰-) در تقویت کننده قدرت پوش پول زیر توان تحویلی ۲ وات است. مقدار مقاومت R و حداقل ولتاژ V_{cc} چقدر است؟

$V_{BE} = 0.7\,V$ ، $V_{CE(sat)} = 0.2\,V$ ، $\beta = 19$ ، $V_Z = 2\,V$



۱) $R = 24\,\Omega$ ، $V_{cc} = 6.7\,V$

۲) $R = 50\,\Omega$ ، $V_{cc} = 6.7\,V$

۳) $R = 48\,\Omega$ ، $V_{cc} = 6.1\,V$

۴) $R = 52\,\Omega$ ، $V_{cc} = 6.1\,V$

$$\hat{i}_L^+ = \frac{1.3}{R} \times (\beta + 1) = \frac{26}{R}$$

$$\rightsquigarrow P_L = \frac{1}{2} \times R_L \times \hat{i}_L^{\,2} = \frac{1}{2} \times 4 \times \frac{(26)^2}{R^2} = 2$$

$$\rightarrow \boxed{R = 26\,\Omega}$$

V_{cc} نباید کمتر از 6 باشد. $\rightsquigarrow$

$$\hat{V}_o^+ = \hat{i}_L \times 4 = \frac{26}{R} \times 4 = 4$$

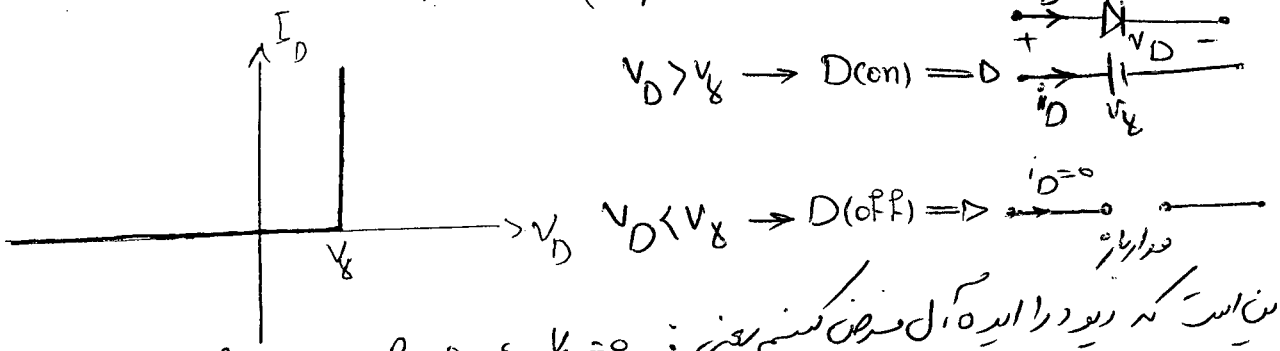
$$\hat{V}_{e_1} = \frac{4 + 0.5}{4} \times \hat{V}_o = \frac{4.5}{4} \times 4 = 4.5$$

$$V_{b_1} = 0.7 + 4.5 = \boxed{5.2}$$

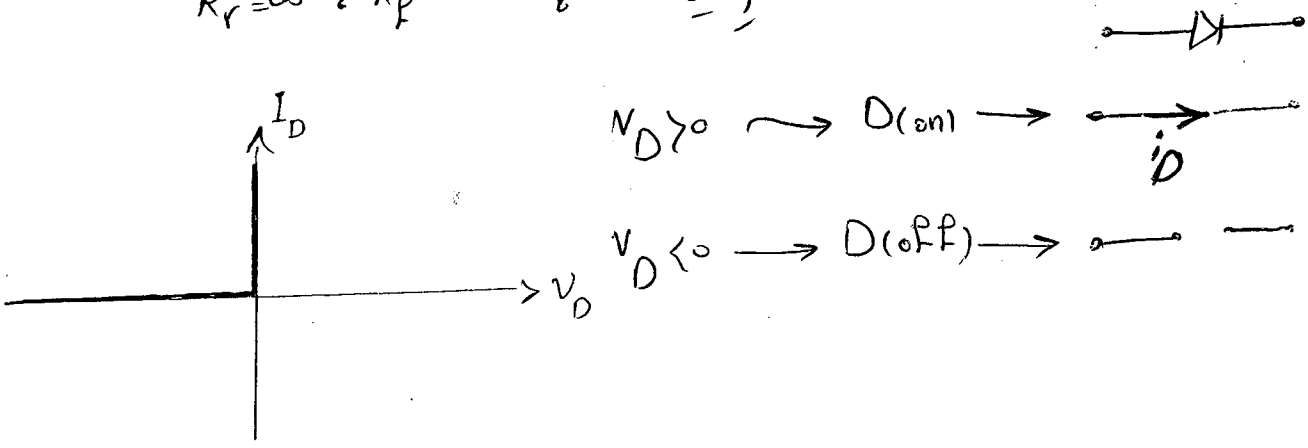
$$V_{CC} = 1.3 + |V_{CE(sat)}| + 5.2 = 1.3 + 0.2 + 5.2 = \boxed{6.7}$$

LearnElement.ir

با کمی تقریب بیشتر خواهیم داشت ($R_r \to \infty$, $R_f \to 0$)



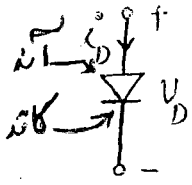
تقریب بعدی این است که دیود را ایده‌آل فرض کنیم یعنی : $R_r = \infty$ ، $R_f = 0$ ، $V_\gamma = 0$



مدارات دیودی :

برای حل مسائل مربوط به دیودها و مدارات دیودی با توجه به قانون زیر عمل می‌کنیم :

- اگر دیود روشن باشد جریان i_D طبق تعریف مثبت است
- اگر دیود خاموش باشد ولتاژ V_D طبق پلاریته اویرو مثبت است

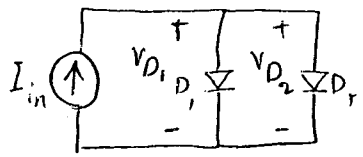


نکته : در مدارای که مشخصه انتقالی ($V_{out} - V_{in}$) را مطالبه می‌کند می‌بایستی ورودی را از کمترین ولتاژ ممکن (معمولاً $-\infty$) تا بیشترین ولتاژ ممکن (معمولاً $+\infty$) فرض می‌کنیم . در طول این بازه ، با توجه به بایاسینگ مدار وضعیت دیودها را حدس می‌زنیم . در مورد صحیح بودن یا غلط بودن فرض می‌توانیم از قانون فوق استفاده کنیم . در طول این بازه دیود فقط یک بار تغییر وضعیت می‌دهد . اگر روشن است خاموش و اگر خاموش است روشن می‌شود . این حالت چندبار تکرار نمی‌شود

LearnElement.ir

مثال: در مدار زیر دیود ها دارای ولتاژ آستانه یکسان و جریان اشباع معکوس متفاوت اند. معلومیت کامل جریان دیودها

$$i_D = I_S\left[e^{\frac{v_D}{V_T}} - 1\right]$$



وقتی می نویسند دیودها یکسان یعنی V_T ها با هم برابرند.
و از نقطه نظر مدار V_D ها با هم برابرند.

$$V_{D_1} = V_{D_2}$$

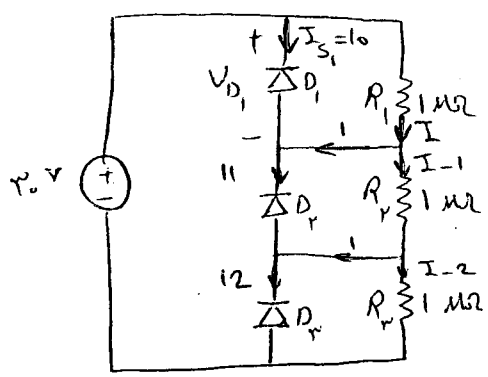
حون هر دو در جهت مستقیم جریان احتمالی عبور دیودها روشن هستند:

$$i_D \cong I_S e^{\frac{v_D}{V_T}} \longrightarrow V_D = V_T \ln\left(\frac{I_D}{I_S}\right)$$

$$\rightsquigarrow V_{D_1} = V_{D_2} \longrightarrow V_T \ln\left(\frac{I_{D_1}}{I_{S_1}}\right) = V_T \ln\left(\frac{I_{D_2}}{I_{S_2}}\right) \rightarrow \frac{I_{D_1}}{I_{S_1}} = \frac{I_{D_2}}{I_{S_2}}$$

$$\rightarrow \frac{I_{D_1}}{I_{D_2}} = \frac{I_{S_1}}{I_{S_2}} \rightsquigarrow \frac{I_{D_1}}{I_{D_1}+I_D} = \frac{I_{S_1}}{I_{S_1}+I_{S_2}} \Rightarrow I_{D_1} = I_{in}\frac{I_{S_1}}{I_{S_1}+I_{S_2}},\ I_{D_2} = I_{in}\frac{I_{S_2}}{I_{S_1}+I_{S_2}}$$

اتوماسیون ۹۶- در مدار شکل زیر جریانهای بایاس معکوس دیودهای D_1 تا D_3 به ترتیب به صورت $I_{S_1} = 10\mu A$، $I_{S_2} = 11\mu A$ و $I_{S_3} = 12\mu A$ هستند. ولتاژ بایاس معکوس دو سر دیود D_1 برابر است با:



$$1^M \times I + 1^M[I-1] + 1^M[I-2] = 30$$

$$I = 11\mu A$$

$$V_{D_1} = I \times 1^M = 11^V$$

۱) $V_{D_1} = 9^V$

۲) $V_{D_1} = 10^V$

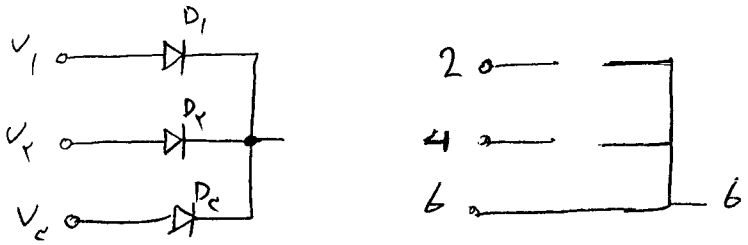
۳) $V_{D_1} = 11^V$

۴) $V_{D_1} = 12^V$

LearnElement.ir

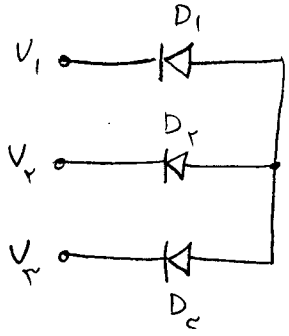
نکته : در مداراتی که به صورت کاتد مشترک باشند دیودی هدایت می کند که آند آن به ولتاژ بالاتری متصل باشد

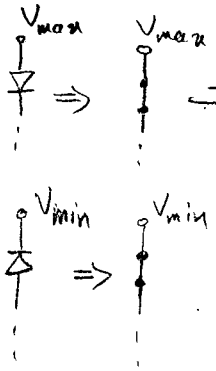
ودیگر دیود ها مدار باز خواهند بود



در مداراتی که به صورت آند مشترک باشند دیودی هدایت می کند که کاتد آن به ولتاژ پایین تری متصل باشد

ودیگر دیود ها مدار باز خواهند بود .

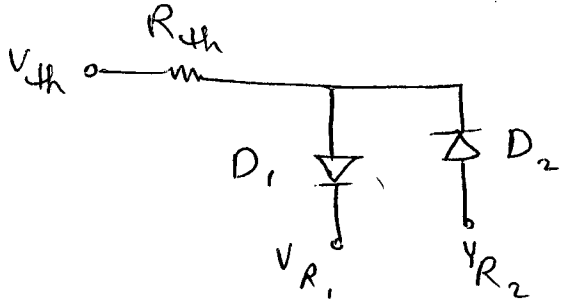




نکته : در یک مدار دیودی که آند آن به بالاترین ولتاژ مدار وصل باشد قطعاً روشن است

در یک مدار دیودی که کاتد آن به پایین ترین ولتاژ مدار وصل باشد قطعاً روشن است

(حالت عکس نکته ٔ فوق نیز برقرار است)



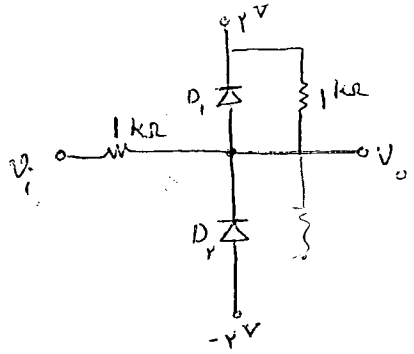
$D_2(on) \leftarrow V_{th} < V_{R_2}$

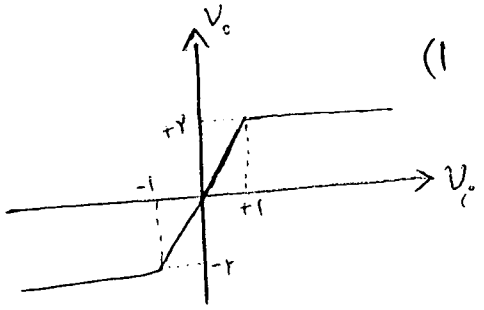
$D_2(off) \leftarrow V_{th} > V_{R_2}$

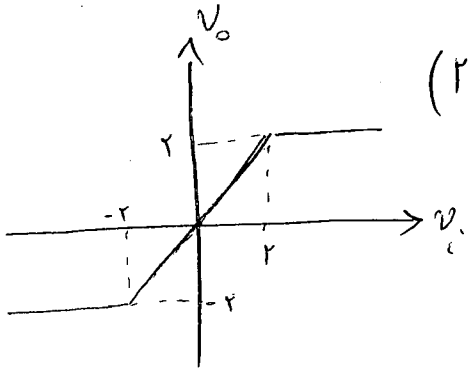
LearnElement.ir

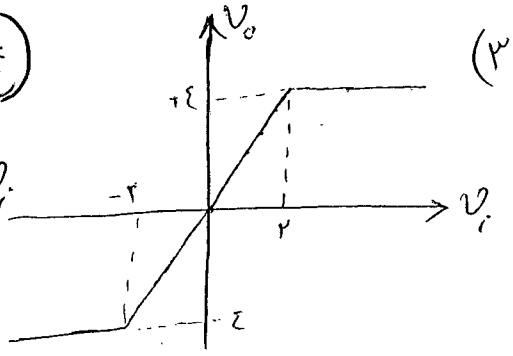
جزوه الکترونیک ۱ استاد ناعمتی (تابستان ۱۳۹۰)

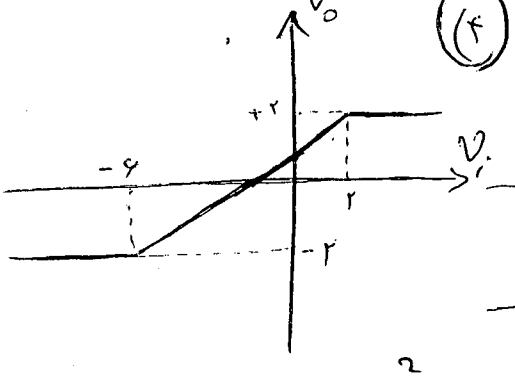
کاردانی به کارشناسی - ۱۸) مشخصه‌ی انتقالی (یا کار) مدار شکل مقابل کدام است؟ (دیودها ایده‌آل‌اند)

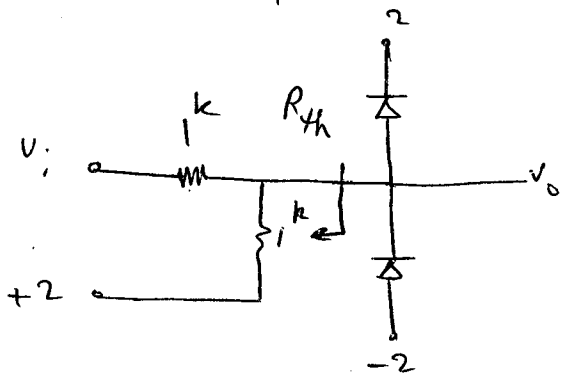


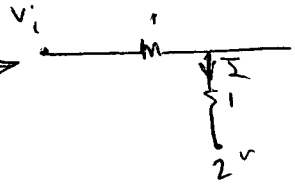
(۱


(۲


(۳


(۴)


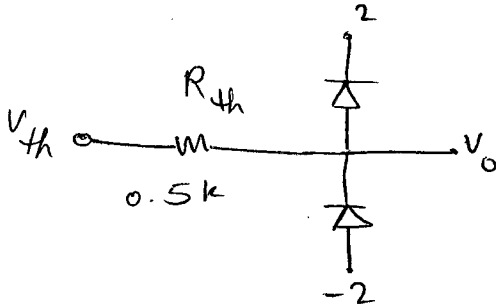




$R_{th} = 0.5^{k}$

$V_{th} = \left(\frac{V_i - 2}{2^k}\right) \times 1^k + 2$

$= 0.5 V_i + 1$



if $V_{th} < -2 \rightarrow D_2(on), D_1(off) \rightarrow V_o = -2$

$\rightarrow 0.5 V_i + 1 < -2 \rightarrow V_i = -6$

if $V_{th} > 2 \rightarrow D_2(off), D_1(on) \rightarrow V_o = +2$ V

$\rightsquigarrow 0.5 V_i + 1 > 2 \rightsquigarrow V_i = +2$

if $-2 < V_{th} < 2 \rightarrow D_1(off), D_2(off) \rightarrow V_o = V_{th}$

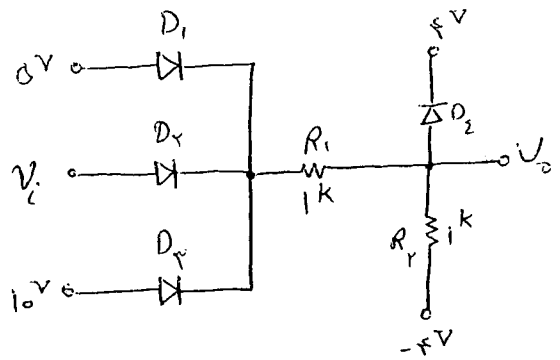
$-6 < V_i < 2$

$V_o = 0.5 V_i + 1$

LearnElement.ir

www.bargh-arshad.com

برق - ۸۵) در مدار شکل زیر، دیودها ایده‌آل فرض شده‌اند. اگر ولتاژ ورودی V_i در محدوده‌ی $12^V < V_i < 16^V$ باشد، کدامیک از گزینه‌های زیر در مورد V_o صادق است؟



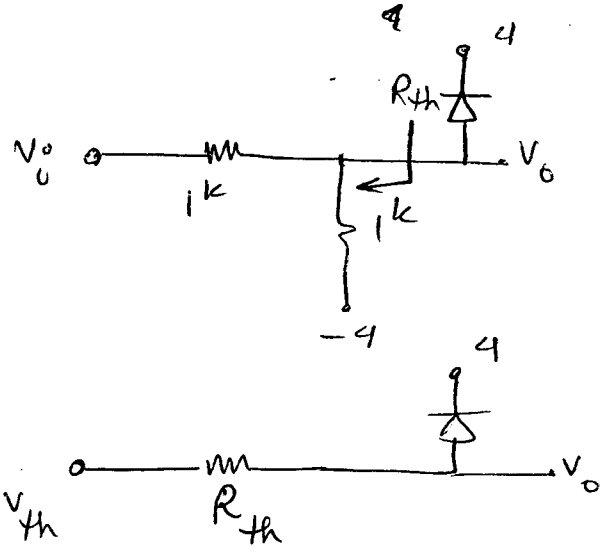
۱) $V_o = +4$

۲) $V_o = -4$

۳) $V_o = \frac{1}{2}V_i + 2$

۴) $V_o = \frac{1}{2}V_i - 2$

$12 < V_i < 16 \longrightarrow D_2$: on



$R_{th} = 0.5^k$

$V_{th} = \underbrace{\left[\frac{V_i + 4}{2^k}\right]}_{I} \times 1^k - 4 =$

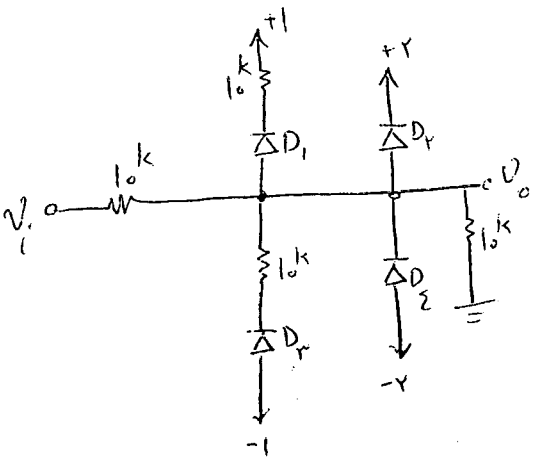
if $V_i = +12 \longrightarrow V_{th} = 4$

if $V_i = 16 \longrightarrow V_{th} = +6$

$\left.\begin{matrix} \\ \\ \end{matrix}\right\} \xrightarrow{V_{th} \gtrless 4} D(on) \longrightarrow \boxed{V_o = +4}$

LearnElement.ir

برق ۸۲) در مدار شکل زیر دیودها ایده‌آل هستند. سیگنال V_i از $-۴٫۵$ V تا $+۴٫۵$ V تغییری کند، سیگنال خروجی V_o در چه حوزه‌ای تغییری کند؟



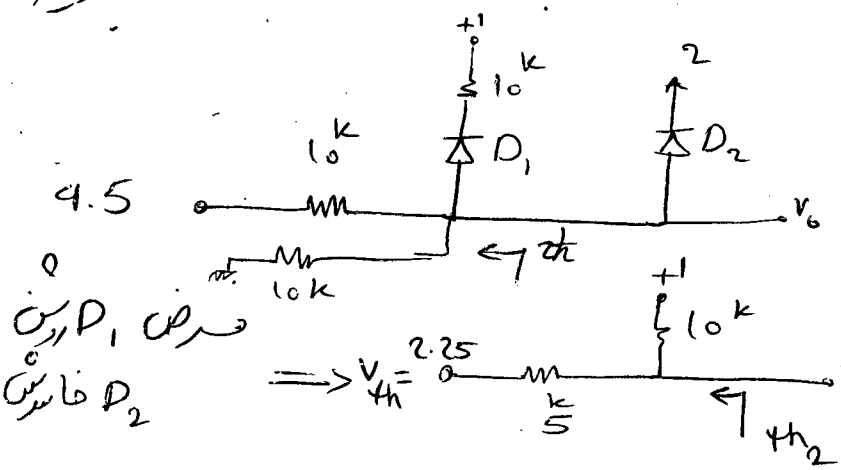
۱) $-۲ < V_o < +۲$

۲) $-۱٫۵ < V_o < +۱٫۵$

۳) $-۲٫۲۵ < V_o < +۲٫۲۵$

۴) $-۱٫۸۳ < V_o < +۱٫۸۳$

چون ورودی متقارن است پس حرض هم متقارن است از یک ضد یا یک منفی را در نظر میگیریم جواب درست می‌آید؛



$$\Rightarrow V_{th} = \frac{2.25-1}{15k} \times 10 + 1 \rightarrow V_{th_2} = \frac{2.25-1}{15k} \times 10 + 1$$

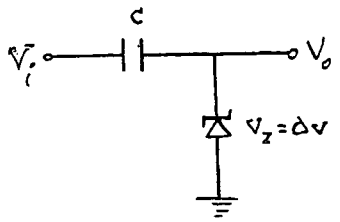
$$V_{th_2} = 1.83$$

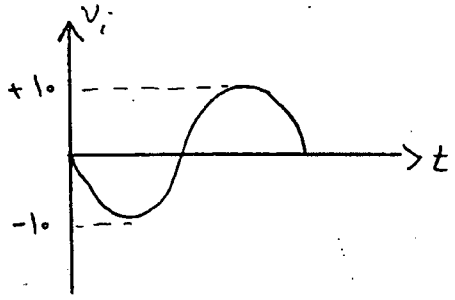
$V_{th_2} < 2^V \rightarrow 1.83 < 2^V$ ✓ $\rightarrow$ پس فرض خاموش بودن D_2 درست است.

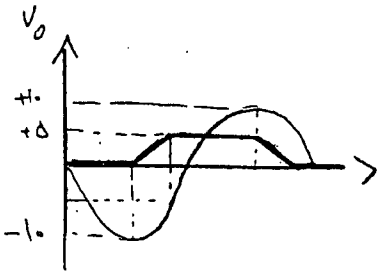
LearnElement.ir

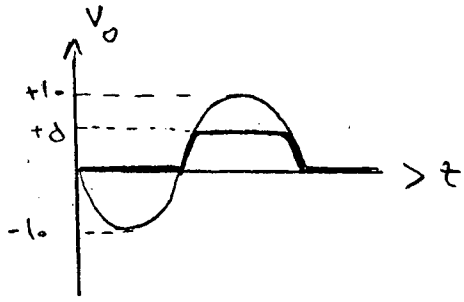
برق - ۹۰) در شکل مقابل دیود زنر ایده آل است، ولتاژ خروجی V_o به کدام شکل نزدیکتر است؟

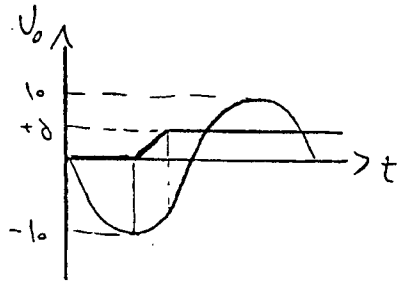
(از خازن کنیه ولتاژ اولیه خازن صفر است)

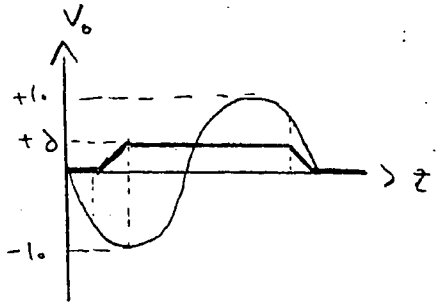






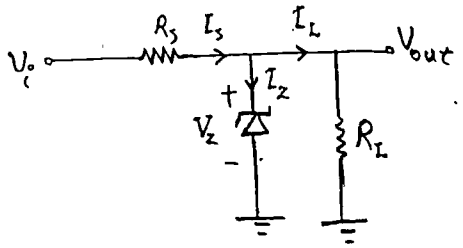






LearnElement.ir

تنظیم کننده های ولتاژ



در مدار زیر در صورتیکه ولتاژ ورودی به اندازه ای باشد که دیود زنر در ناحیهٔ زنری خود قرار گیرد، دراین صورت دیود زنر در نقش تنظیم کنندهٔ ولتاژ عمل می نماید.

در طراحی مدار تنظیم کننده فوق می بایست به نکات زیر توجه نمود:

۱- هنگامیکه I_z ماکزیمم است جریان I_L مینیمم است و بالعکس هنگامیکه I_z مینیمم است جریان I_L ماکزیمم است.

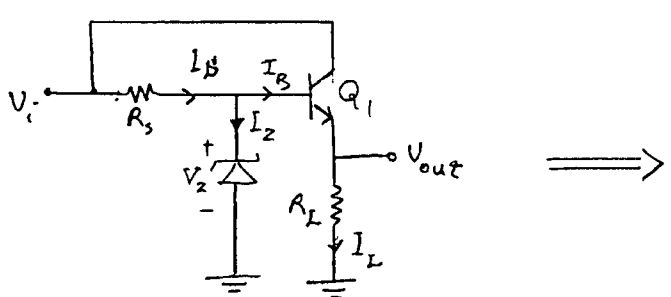
۲- هنگامیکه ولتاژ ورودی V_i ماکزیمم (ویا مینیمم) است جریان I_z نیز ماکزیمم (مینیمم) است

$$V_{i(max)} \longrightarrow I_{z(max)} \longrightarrow I_{L(min)}$$

$$V_{i(min)} \longrightarrow I_{z(min)} \longrightarrow I_{L(max)}$$

۳- اگر در مسأله مقدار $I_{L(min)}$ داده نشده باشد و در حل بآن احتیاج داشته باشیم آنرا صفر فرض می کنیم.

جهت افزایش جریان خروجی می توان از ترانزیستور قدرت Q_1 مطابق شکل زیر استفاده نمود



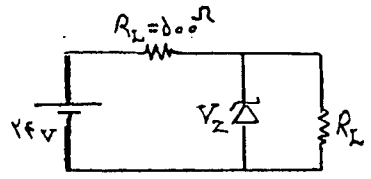
$$I_B = I_S - I_Z$$

$$I_L = (\beta + 1)\, I_B$$

$$V_{out} = V_Z - V_{BE}$$

LearnElement.ir

۷۸- کاردانی به کارشناسی - ۸۵) در شکل زیر، فرض کنید $V_Z = 12\,V$ ، $I_{ZK} = 3\,mA$ و ماکزیمم توان مجاز دیود زنر مساوی ۱ وات است مقاومت بار R_L در چه محدوده‌ای تغییر کند تا ولتاژ V_o روی ۱۲ ولت ثابت بماند؟



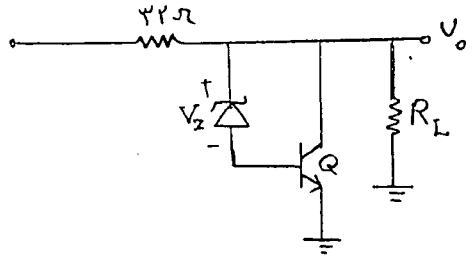
۱) $0 \leq R_L \leq 500\Omega$

۲) $0 \leq R_L \leq 571\Omega$

۳) $571\Omega \leq R_L$

۴) $500\Omega \leq R_L$

برق - ۷۹) در مدار تنظیم کننده ولتاژ زیر داریم: $V_i = 15\,V$ و $\beta = 50$ و $V_{BE(on)} = 0.7\,V$ و $I_{ZK} = 0.5\,mA$ ، $P_{Z(max)} = 25\,mW$ ، $V_Z = 6.2\,V$. R_L در چه محدوده‌ای می‌تواند تغییر کند تا رگولاتور کار خود را به خوبی انجام دهد؟



۱) $R_L > 158\Omega$

۲) $R_L < 118\Omega$

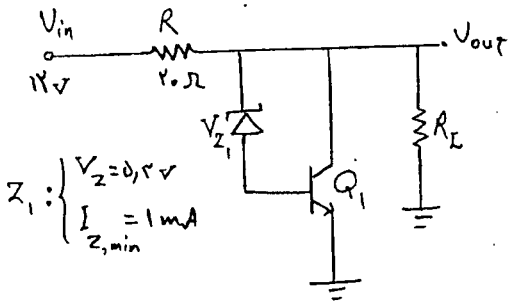
۳) $31\Omega < R_L < 158\Omega$

۴) $R_L > 21\Omega$

LearnElement.ir

۱۴۵

مثال ترانزیستور (۸۸) در مدار شکل مقابل مقدار مقاومت بار R_L چقدر باشد تا ولتاژ خروجی V_{out} بطور ثابت گردد.



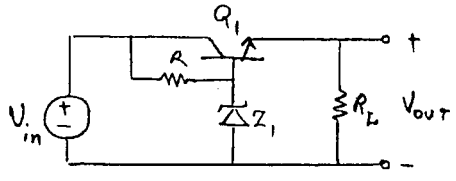
۱) $R_L \geq ۲۰\Omega$

۲) $R_L \geq ۲۴\Omega$

۳) $R_L \geq ۲۸\Omega$

۴) $R_L \geq ۳۲\Omega$

مثال ۸۷- در رگولاتور شکل زیر $I_{L,max} = 1A$ ، $V_{out} = 8V$ ، $12 \leq V_{in} \leq 16$ ، $I_{Z,min} = 2mA$ می باشد. $\beta = ۴۹$ ، $V_{BE} = 0,۷V$ مقادیر R ، $I_{Z,max}\Big|_{R_{max}}$ به کدام گزینه نزدیکتر است؟



۱) $I_{Z,max} = ۴۸mA$ ، $R \leq ۱۵۰\Omega$

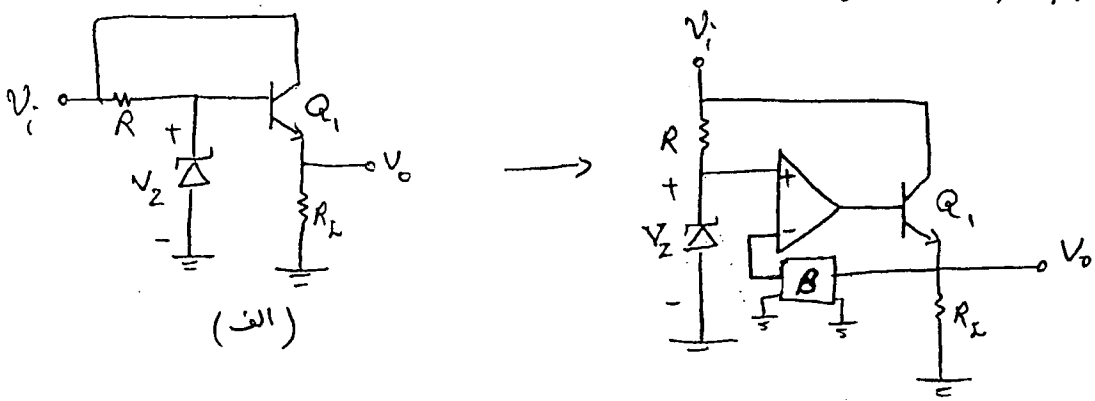
۲) $I_{Z,max} = ۸۰mA$ ، $R \leq ۸۹\Omega$

۳) $I_{Z,max} = ۳mA$ ، $R \leq ۲k\Omega$

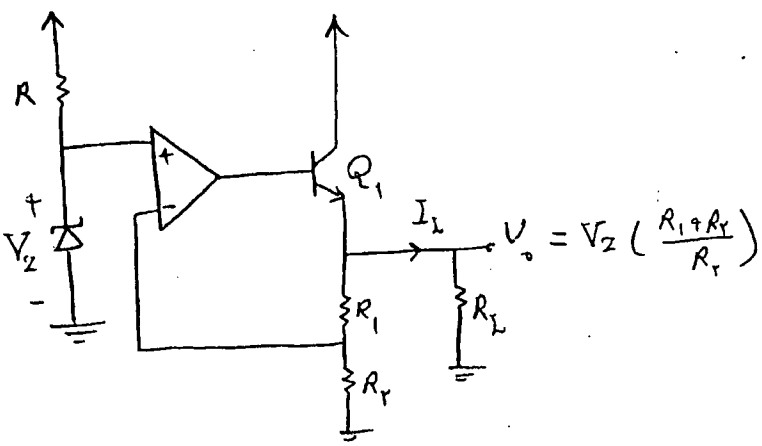
۴) $I_{Z,max} = ۲۲mA$ ، $R \leq ۱۰k\Omega$

LearnElement.ir

هر مدار تنظیم کنندهٔ شکل الف برای جهت بالابردن قدرت جریان‌دهی و تنظیم بهتر ولتاژ خروجی می‌توان مطابق شکل ب از Op.Amp استفاده نمود:



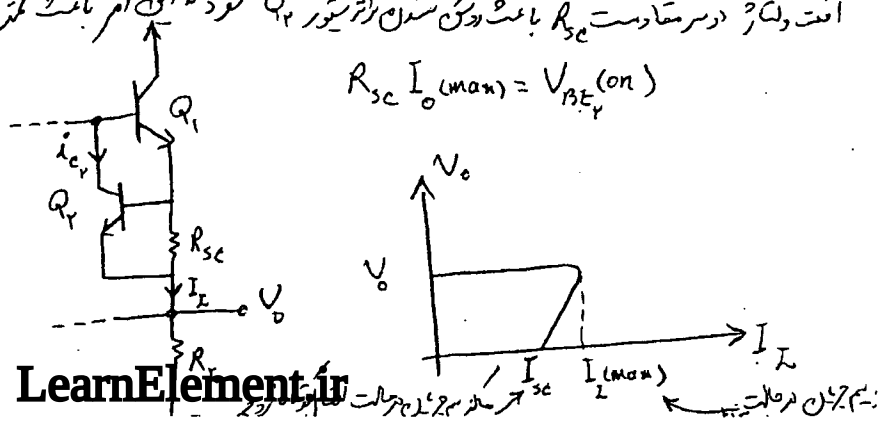
شبکه β : یک مدار دلخواه است که رابطهٔ ولتاژ مرجع (V_Z) و ولتاژ خروجی است.



محدود کنندهٔ جریان در رگولاتورها:

در مدار شکل فوق در صورت کاهش R_L با توجه به ثابت بودن V_o جریان I_L افزایش می‌یابد. این جریان از ترانزیستور Q_1 تأمین می‌شود که در صورت افزایش شدید I_L ممکن است باعث سوختن ترانزیستور Q_1 شود. بنابراین جهت محدود کردن جریان خروجی می‌توان از ترانزیستور Q_2 (در هنگامیکه روشن است) استفاده نمود، بطوریکه هنگامیکه جریان I_L برابر با $I_{o(max)}$ شود افت ولتاژ دو سر مقاومت R_{sc} باعث روشن شدن ترانزیستور Q_2 شود که این امر باعث کم شدن جریان بیس Q_1 قبل از تقویت در امیتر آن شود

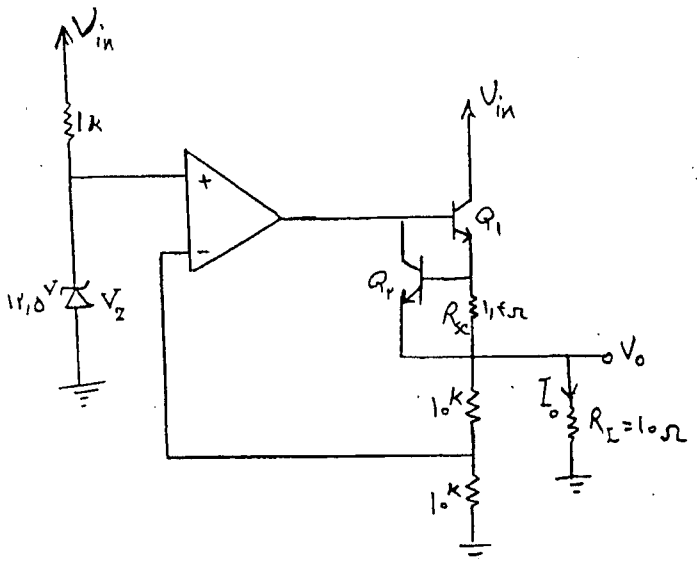
$$R_{sc} I_{o(max)} = V_{BE_2(on)}$$



LearnElement.ir

۲۷۵

برق ۸۲-) در مدار تنظیم کننده ولتاژ زیر برای ترانزیستورها داریم: $\beta = 100$ ، $V_{BE} = 0.7V$ جریان خروجی رگولاتور (یعنی I_o) چند آمپر است؟



۱) ۰/۵

۲) ۱

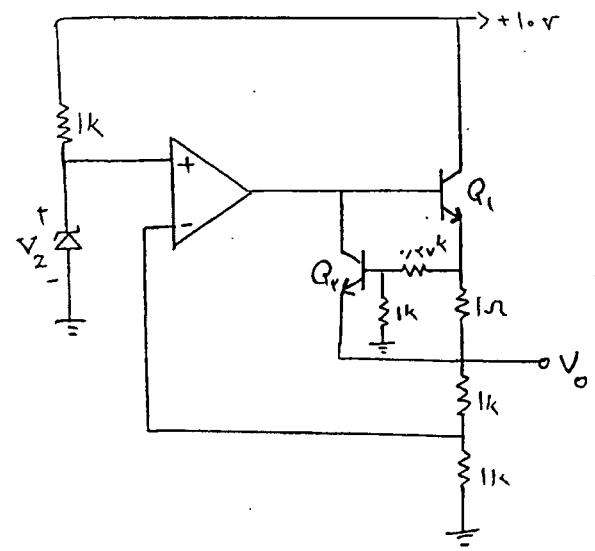
۳) ۱/۲۵

۴) ۲/۵

برق ۸۴-) در رگولاتور داده شده اگر حداکثر جریان خروجی Op. Amp برابر ۳۵mA باشد. جریان اتصال کوتاه رگولاتور به کدام گزینه نزدیک‌تر است؟

$V_2 = 2.5V$ ، $V_{BE} = 0.7V$ ، $\beta_2 = 75$ ، $\beta_1 = 150$

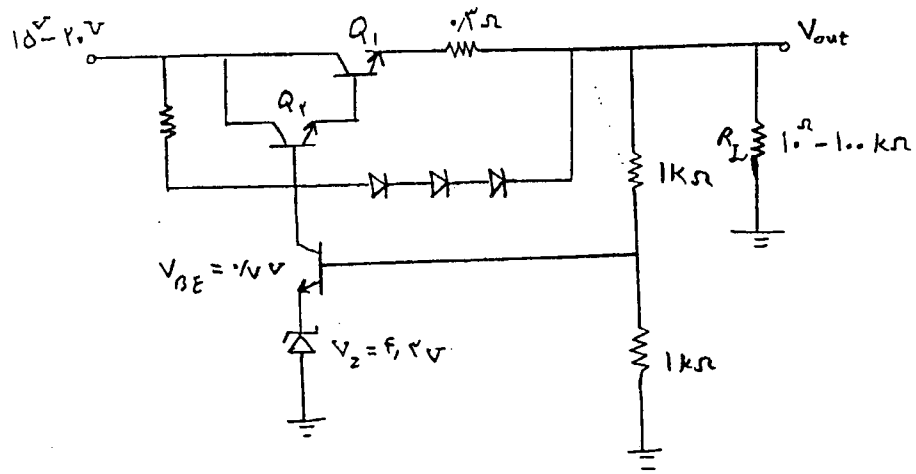
۱) ۲/۴۴A ۲) ۰/۹A ۳) ۰/۷A ۴) ۰/۵A



LearnElement.ir

۹۴

۹۰) در رگولاتور شکل زیر مقاومت بار از ۱۰Ω تا ۱۰۰kΩ و ولتاژ تغذیه و ورودی از ۱۵V تا ۲۰V متغیر است. توان تحمل ترانزیستور Q_1 به طور تقریبی چند وات است؟



۱) ۲/۵

۲) ۷

۳) ۱۵

۴) ۱۰

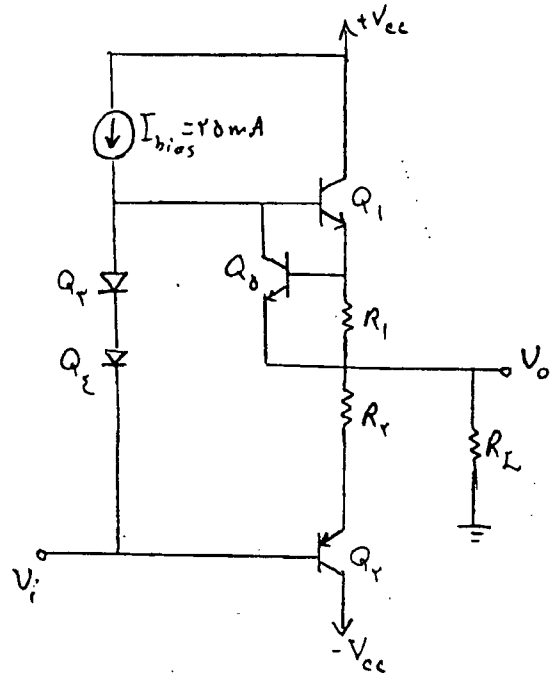
LearnElement.ir

۸۴. (مشابه سوال ۸۴ آزاد ۹۰) در مدار شکل زیر وقتی که جریان خروجی (I_{R_L}) به ۲A برسد، ترانزیستور Q_5 تقریباً تمام جریان $I_{bias} = 25mA$ را از خود عبور می‌دهد. مقدار مقاومت R_1 تقریباً برابر است با:

$V_{BE} = 60mv \log\left(\frac{I_C}{I_S}\right)$

$\beta \to \infty$

$I_S = 2.5 \times 10^{-14} A$



۱) ۳۲۰ mΩ

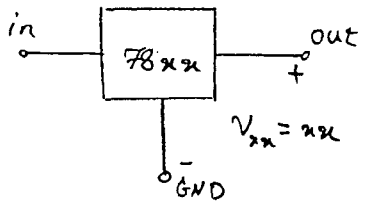
۲) ۳۶۰ mΩ

۳) ۴۴۰ mΩ

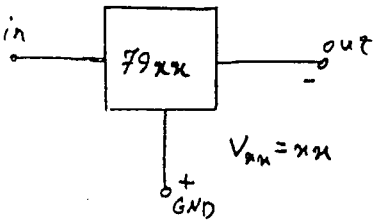
۴) ۴۶۰ mΩ

LearnElement.ir

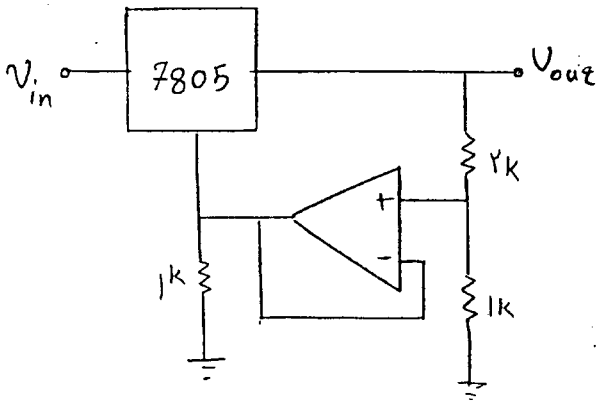
• استفاده از تنظیم کننده های مجتمع در رگولاتورها:



جهت ایجاد ولتاژ تثبیت شدهٔ xx در پایه out نسبت به پایهٔ GND می‌توان از IC رده (78xx) جهت ایجاد ولتاژ مثبت و از IC (79xx) جهت ایجاد ولتاژ منفی استفاده نمود



در مدار شکل روبرو V_o کدام است؟



۱) هیچکدام

۲) ۵

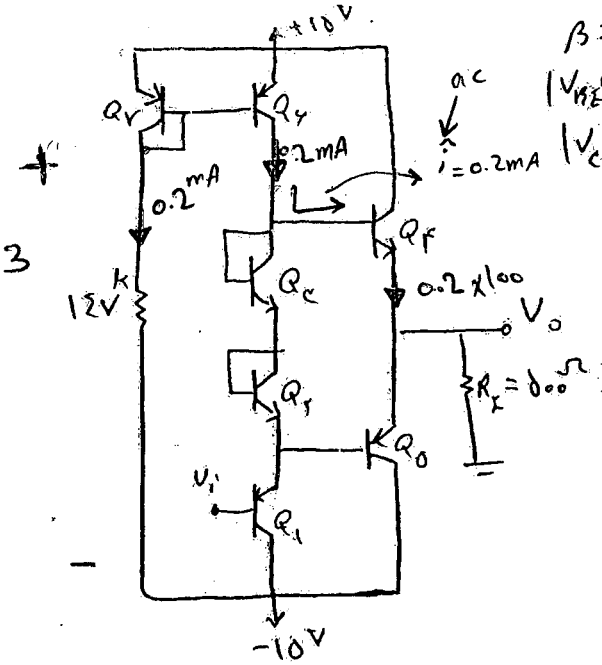
۳) ۱۰

۴) ۱۵

LearnElement.ir

www.bargh_arshad.com

۵۲/ (برق - ۸۷) در مدار زیر مقدار توان ماکزیمم مصرفی در بار در راندمان برابر کدام است؟



29.3

$\beta = 1$ — a.c

$|V_{BE(on)}| = 0.7V$

$|V_{CE(sat)}| = 0.2V$

I_S ترانزیستورها باهم برابرند.

۱) $P_{I(max)} = 100\,mw$ ، $\eta = 52.34\%$

۲) $P_{I(max)} = 100\,mw$ ، $\eta = 78.5\%$

۳) $P_{I(max)} = 201.4\,mw$ ، $\eta = 74.8\%$

۴) $P_{I(max)} = 201.4\,mw$ ، $\eta = 52.34\%$

وضعیت ac مدار ترانزیستورهای Q_2 و Q_3 قابل صرف نظر است.

درشرایط حدی ایده‌آل اگر $V_{cc} = V_o$ شود $\eta = 78.5°$

اینجا شرایط ایده‌آل نیست. پس ۲ خطا است. ۱) V_{CE} (چون V_{BE} دارم)

۲) هم نزدیک ترینه ۲ است زیاد می‌شود.

$$\rightarrow \eta = 0.5 \rightarrow \frac{P_L}{P_{cc}} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{V_o}{V_{cc}} = 0.78\,\frac{\hat{V}_o}{15} = \frac{5}{10} \rightarrow \hat{V}_o = 10$$

$$P_L = \frac{1}{2}\,\frac{\hat{V}_o^{\,2}}{R_L} = \frac{1}{2} \times \frac{(10)^2}{0.5^k} = 100\,mw$$

$$V_o = 0.2 \times 100 \times 500 = 10V$$

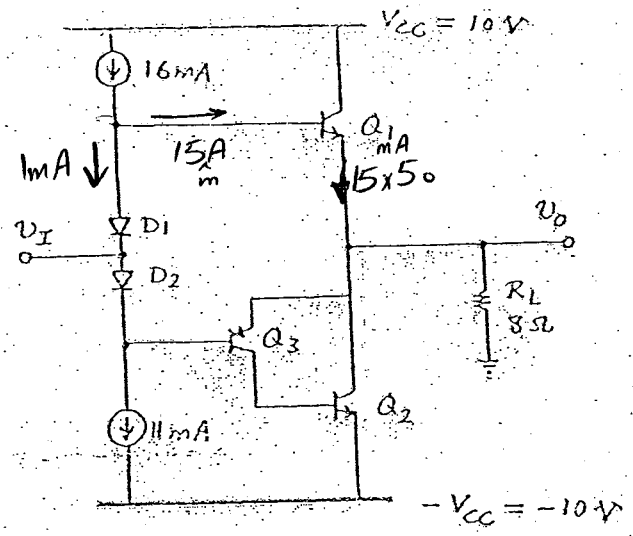
$$\eta = \frac{\pi}{4} \times \frac{\hat{V}_o}{V_{CC}} = 0.78 \times 10/15 = 52\%$$

$$P_L = \frac{1}{2}\,\frac{\hat{V}_o^{\,2}}{R_L} = 1/2 \times \frac{10^2}{0.5^k} = 100mw$$

LearnElement.ir

در مدار شکل مقابل حداقل جریان لازم برای بایاس دیودهای D_1 و D_2 ، 1mA است. حداکثر راندمان توان طبقه خروجی آن تقریباً چقدر است؟ (حداقل افت ولتاژ دو سر منابع جریان ۰/۳ ولت است.)

۱) ٪۷۱
۲) ٪۶۳
۳) ٪۵۴
۴) ٪۴۷



$$\begin{cases} |V_{CE,sat}| = 0.2V \\ |V_{BE,on}| = 0.7V \\ \beta_1 = \beta_2 = 49 \\ \beta_3 = 20 \end{cases}$$

$$v_o = \frac{15 \times 50}{1000} \times 8 = 6 \text{ V}$$

$$\eta = 0.78 \times \frac{6}{10} \simeq 0.47$$

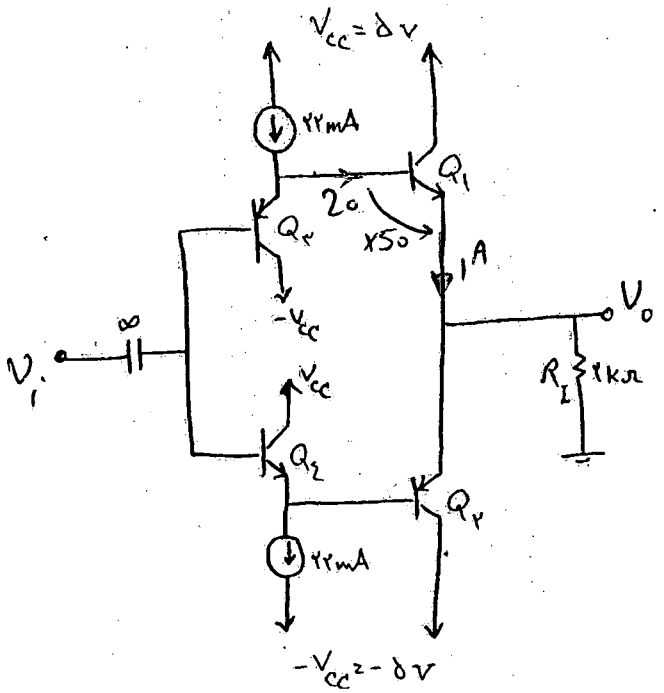
می‌توان از سیم Q_2 و Q_3 مقدار جریان دوربهاست V_o را محاسبه کرد که در این صورت کمی راندمان کمتر بدست می‌آید. ما با کمترین مقدار V_o بیشترین راندمان را بدست آوردیم.

LearnElement.ir

اتوماسیون ۸۶- در مدار تقویت کننده توان شکل زیر ترانزیستورهای Q_1 تا Q_4 باهم یکسان هستند و حداقل جریان لازم برای بایاس ترانزیستورهای Q_2 و Q_4، ۲mA است. همچنین حداقل افت ولتاژ در سر منابع جریان ۰٫۳ ولت است. ماکزیمم مقدار توان تحویلی به بار R_L تقریباً برابر است با:

$\beta = 50$, $|V_{BE(on)}| = 0.7V$, $|V_{CE(sat)}| = 0.3V$

1) $P_L = 1\,W$
2) $P_L = 1.25\,W$
3) $P_L = 1.5\,W$
4) $P_L = 4\,W$



الف)

حداکثر دامنه سیگنال خروجی $\Rightarrow \hat{v}_o = 5 - 0.3 - 0.7 = 4V$

حداکثر جریان دهی

$$\begin{cases} \hat{i}_b^+(max) = 22 - 2 = 20\,mA \\ \hat{i}_2^+(max) = 20 \times 50 = 1A \\ \hat{v}_o^+ = 2^\Omega \times 1^A = 2^V \end{cases}$$

$\hat{V}_o(max) = 2V$

$$P_L = \frac{1}{2}\frac{(\hat{V}_o)^2}{R_L}$$

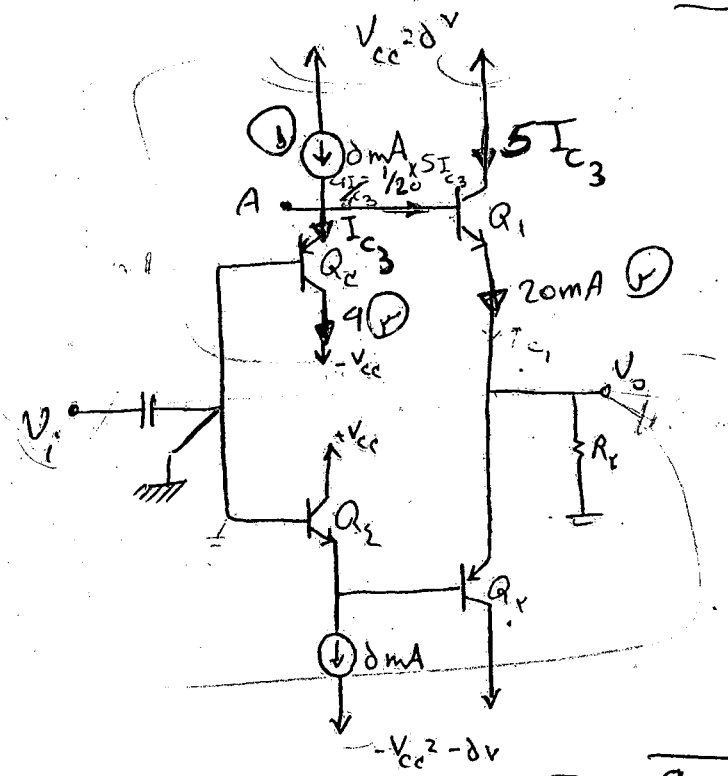
$$= \frac{1}{2} \times \frac{4}{2} = 1\,W$$

LearnElement.ir

www.baryh-arshad.com

۵۶

اتوماسیون - ۸۶) در مدار تقویت کننده توان شکل زیر ساعت ویژه‌ترین امیتر ترانزیستورهای Q_1 و Q_2، ۵ برابر ترانزیستورهای Q_3 و Q_4 است. کل تلفات توان Quiescent مدار یعنی حالتی که ورودی $V_i = 0$ است، تقریباً برابر است با: $\beta_{Q_1,Q_2} = 20$ ، $\beta_{Q_3,Q_4} = 100$



۱) $P_Q = 200\ mw$

۲) $P_Q = 290\ mw$

۳) $P_Q = 320\ mw$

۴) $P_Q = 280\ mw$

(A) $5mA = I_{C_3} + \frac{I_{C_3}}{4} \longrightarrow I_{C_3} = 4mA$

$$\left.\begin{matrix} A_{E_1} = 5A_{E_2} \\ |V_{BE_3}| = |V_{BE_1}| \end{matrix}\right\} \rightarrow 5I_{C_3} = I_{C_1}$$

$$P = 2\left[V_{CC} \times \left[\underbrace{5 + 20 + 4}_{①\ ②\ ③}\right]\right] = 290mw$$

۲: برای محاسبه توان مدار

V_{CC}: در این جریان ضرب می‌شود

P_L

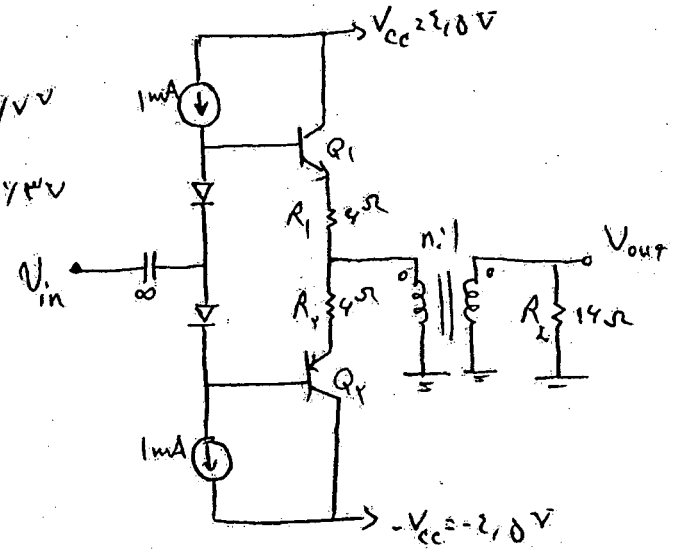
P_L

$P_{CC} = V_{CC} \cdot I_{CQ}$

LearnElement.ir

۵۷) برق - ۸۸) در مدار شکل زیر حداقل افت ولتاژ لازم در دو سر منابع جریان ۳۰ ولت است. حداکثر راندمان توان آن چند درصد است؟

(۱) ۵۲
(۲) ۵۶
(۳) ۶۱
(۴) ۶۸

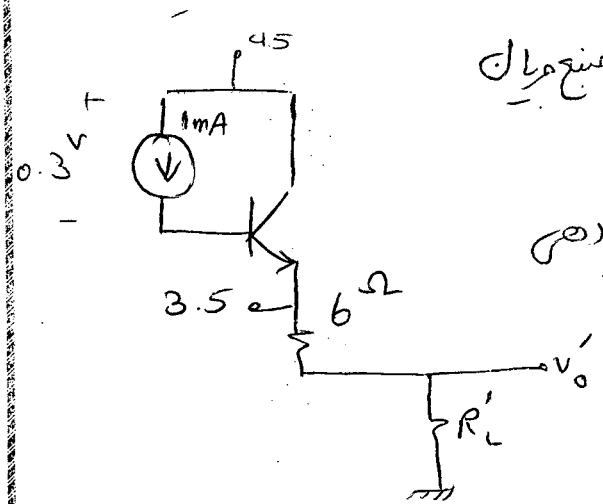


$\beta = 49$

$|V_{BE(on)}| = 0.7\,V$

$|V_{CE(sat)}| \geq 0.3\,V$

η را بدان است. می‌توانیم R'_L در نظر بگیریم (مثل آزمایش ۸۹) بعد η را بدست آوریم.



حداکثر توان خروجی منبع جریان $\hat{V}_o = (4.5 - 0.3 - 0.7) \times \frac{R'_L}{R'_L + 6\Omega}$

حداکثر جریان خروجی $\hat{i}_L = 1mA \times (\beta + 1)$

$\hat{V}'_o = i_L \times R'_L = \frac{1}{1000}A \times (\beta+1) \times R'_L$

$= \frac{R'_L}{20}$

$\frac{R'_L}{20} = \frac{3.5\,R'_L}{R'_L + 6} \rightsquigarrow R'_L + 6 = 70 \rightarrow R'_L = 64$

$\hookrightarrow V'_o = \frac{R'_L}{20} = 3.2\,V$ ، $\eta' = 0.78 \times \frac{\hat{V}'_o}{V_{CC}}$

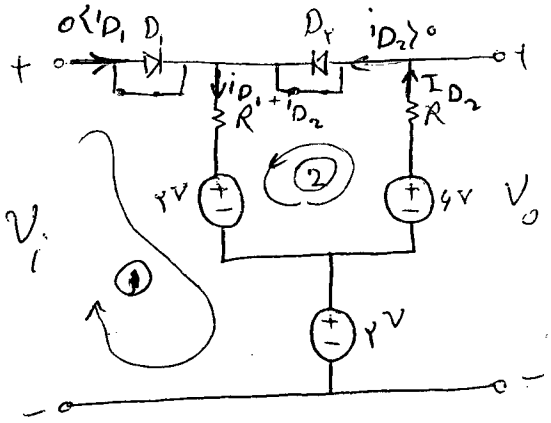
$= 0.78 \times \frac{3.2}{4.5} = 52\%$

$\eta' = \eta$ همان راندمان مدار است پس

LearnElement.ir

www.barghi-arshad.com

تست ۱۸۶) در شکل زیر در چه محدوده‌ای از V_i رابطه‌ی بین ورودی و خروجی $V_o = V_i$ برقرار می‌شود. دیودها ایده‌آل‌اند.



۱) $۲ < V_i < ۴$

۲) $۴ < V_i < ۶$

۳) $۶ < V_i < ۸$

۴) $۸ < V_i < ۱۰$

هرگاه هر دو دیود روشن باشند $V_o = V_i$ می‌شود.

①
$$V_i = R(i_{D_1} + i_{D_2}) + 2 + 2$$

②
$$-6 + i_{D_2} * R + R[i_{D_1} + i_{D_2}] + 2 = 0$$

$$\Rightarrow V_i - 4 = R i_{D_1} + R i_{D_2}$$
$$\Rightarrow 4 = R i_{D_1} + 2R i_{D_2}$$

$$\xrightarrow{①} V_i - 8 = -R i_{D_2}$$

$$8 - V_i = R i_{D_2} \xrightarrow{i_D > 0} \boxed{V_i < 8} \quad ④$$

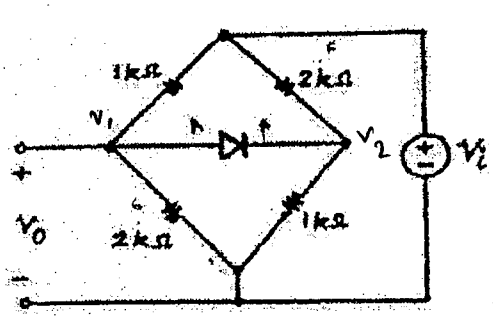
$$\xrightarrow{②} 2V_i - 8 - 4 = R i_{D_1}$$

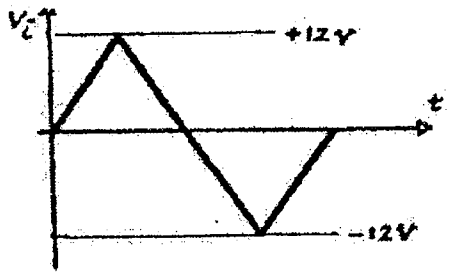
$$2V_i - 12 = R i_{D_1} \xrightarrow{i_D > 0} \boxed{V_i > 6} \quad ⑤$$

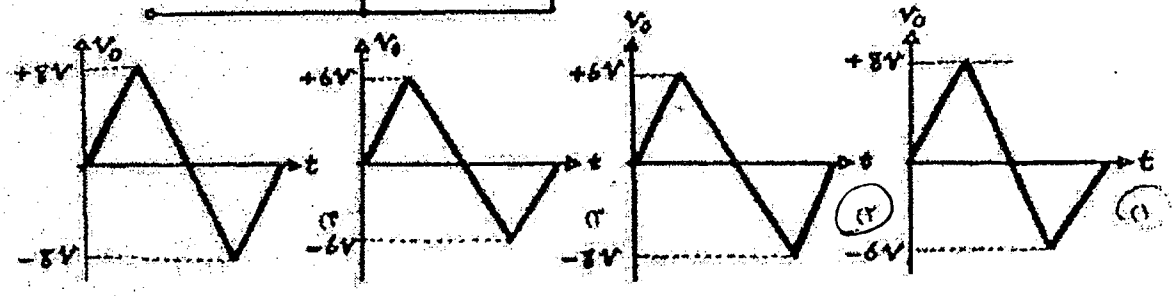
$$\xrightarrow{④, ⑤} 6 < V_i < 8$$

LearnElement.ir

(۱۹_ برق) در مدار مقابل شکل موج ورودی داده شده است. شکل موج خروجی کدام است؟ (دیود D ایده‌آل است.)







$$V_1 = \frac{2}{2+1} V_i = \frac{2}{3} V_i$$

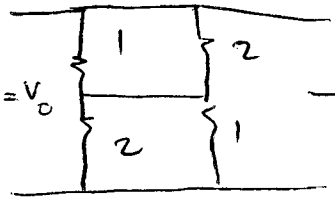
$$V_2 = \frac{1}{1+2} V_i = \frac{1}{3} V_i$$

$V_i > 0 \rightarrow V_1 > V_2 \rightarrow$ D(on)

$V_i < 0 \rightarrow V_1 < V_2 \rightarrow$ D(off)

$V_i < 0$, D(off) $\rightarrow V_o = \frac{2}{3} V_i \rightarrow \hat{V}_o^- = \frac{2}{3}(-12) = -8$

$V_i > 0$, D(on) $\rightarrow 0.5 V_i = V_o$

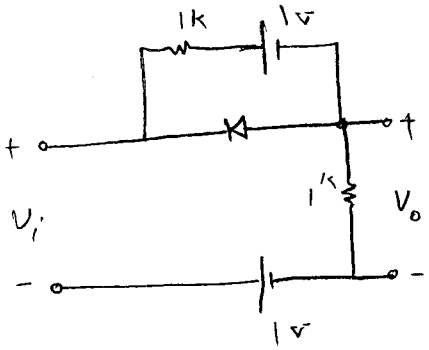


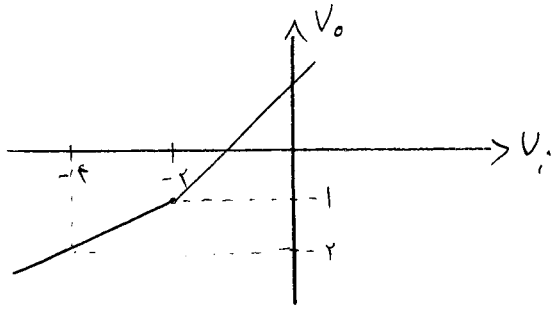
$\hat{V}_o^+ = 0.5 \times \hat{V}_i^+ = 0.5 \times 12 = +6$

LearnElement.ir

www.barqh-arshad.com

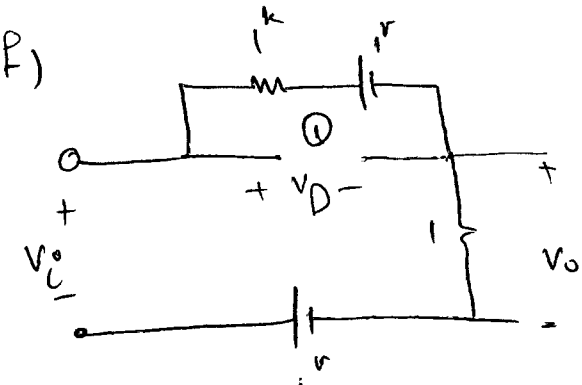
اتوماسیون-۹۰) مشخصه $V_o - V_i$ مدار دیودی روبرو کدام گزینه است؟ (دیود ایده‌آل است)

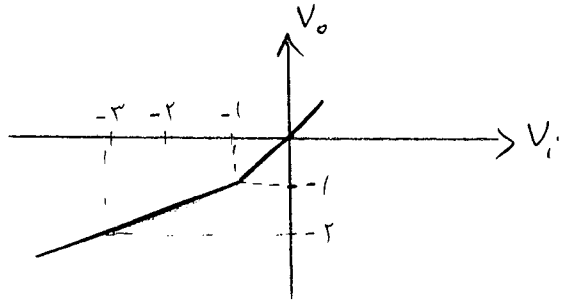




$V_i = +\infty$

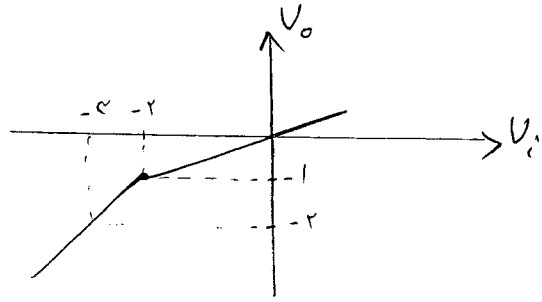
D(off)





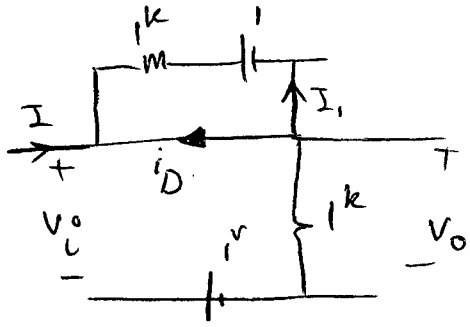
$$V_o = \left(\frac{V_i - 1 + 1}{2}\right) \times 1^k = 0.5 V_i \quad ; \quad \boxed{V_i < -2}$$

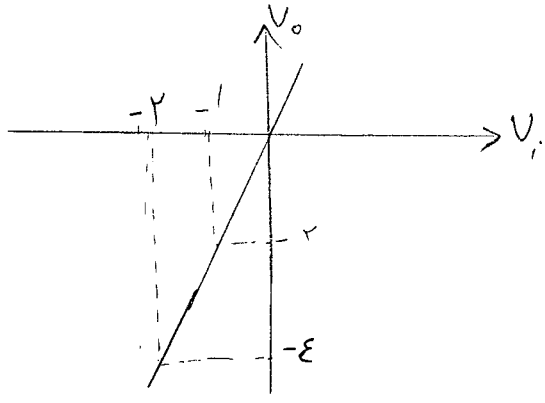
یعنی شیب از $+\infty$ به $\frac{1}{2}$ رسیده.



$V_i = -\infty$

D(on)





$$V_o = \left[\frac{V_i + 1}{1}\right] \times 1 \rightarrow \boxed{V_o = V_i + 1}$$

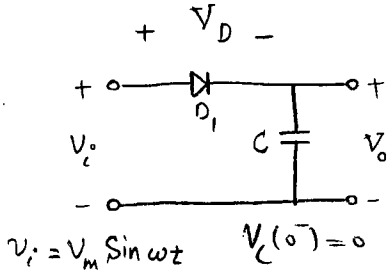
$$i_D = -(V_i + 1) > 0 \rightsquigarrow V_i + 1 < 0$$

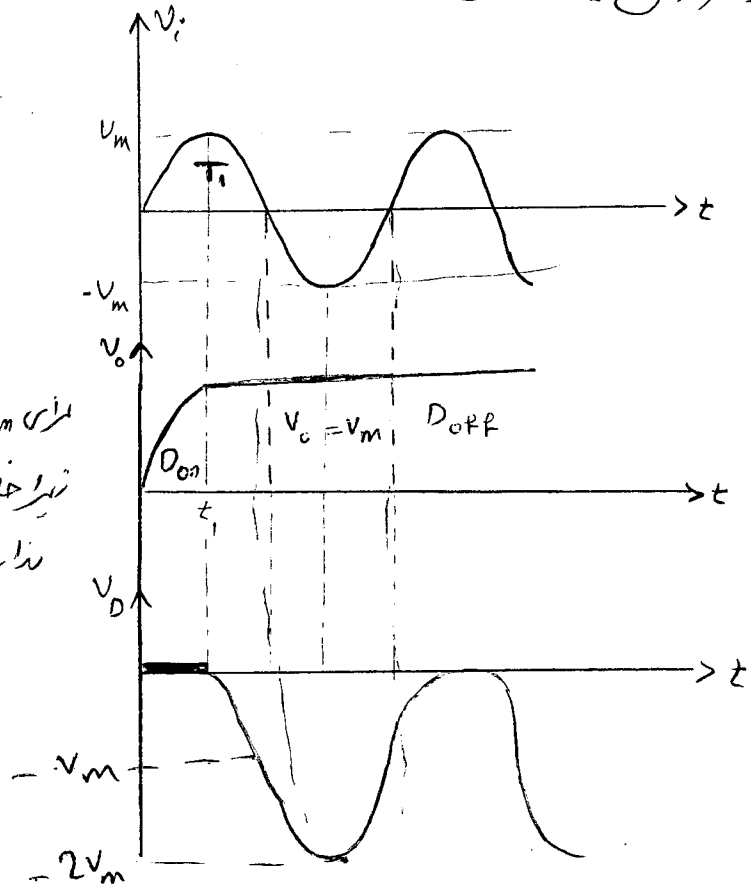
(۳) گزینه

$$\textcircled{1} \longrightarrow V_D = -1 - 1 \times I = -I - 1 = \frac{-V_i}{2} - 1 < 0 \rightarrow \frac{V_i}{2} + 1 < 0 \rightarrow \boxed{V_i < -2}$$

LearnElement.ir

در مدار شکل زیر اگر ورودی یک سیگنال سینوسی ac با پیک ولتاژ V_m باشد.

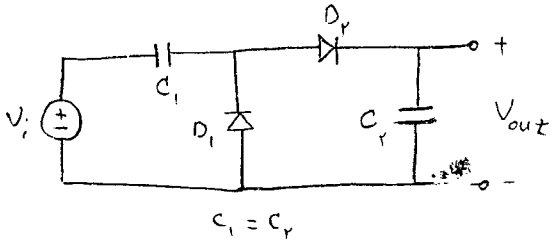


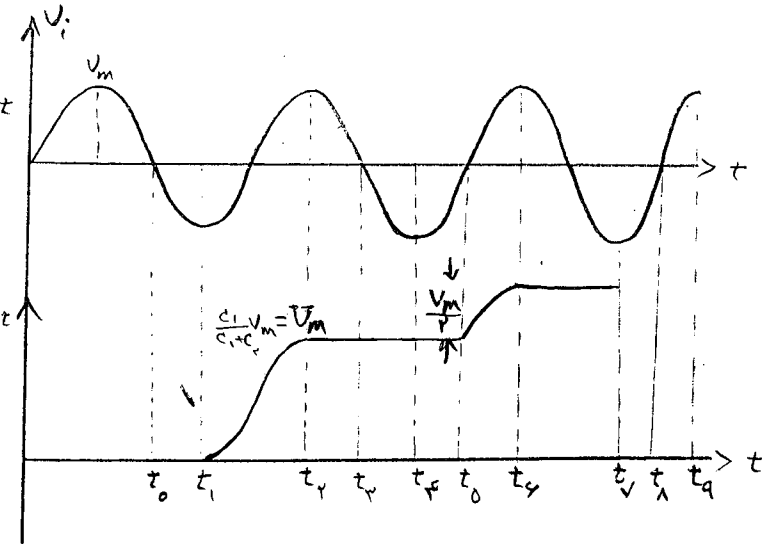


برای $V_o = V_m$ دیود خاموش است و دیگر روشن نمی‌شود زیرا خازن به اندازه V_m شارژ شده جایی را ندارد که شارژ کند. پس دیگر دیود روشن نمی‌شود.

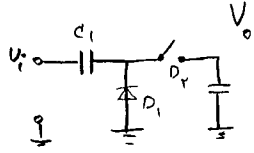
$$V_D = V_i - V_C$$

دوبرابر کننده ولتاژ:

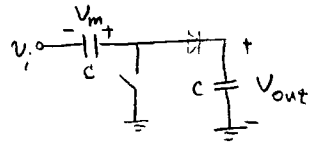




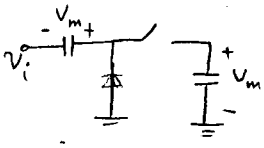
$t_0 < t < t_1 \Rightarrow \begin{cases} D_1 (on) \\ D_2 (off) \end{cases}$



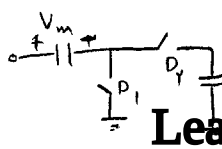
$t_1 < t < t_2 \Rightarrow \begin{cases} D_1 (off) \\ D_2 (on) \end{cases}$



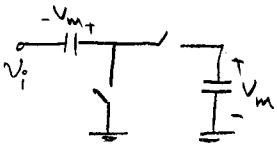
$t_2 < t < t_3 \Rightarrow \begin{cases} D_1 (on) \\ D_2 (off) \end{cases}$



$t_3 < t < t_4 \Rightarrow \begin{cases} D_1 (off) \\ D_2 (off) \end{cases}$



$t_4 < t < t_5 \Rightarrow \begin{cases} D_1 (off) \\ D_2 (off) \end{cases}$

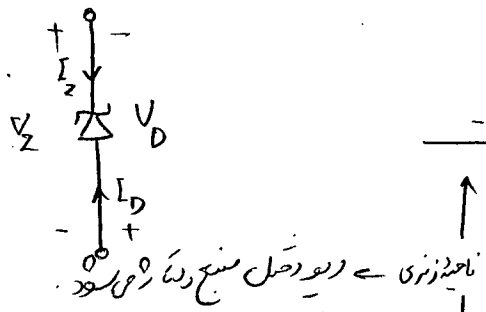


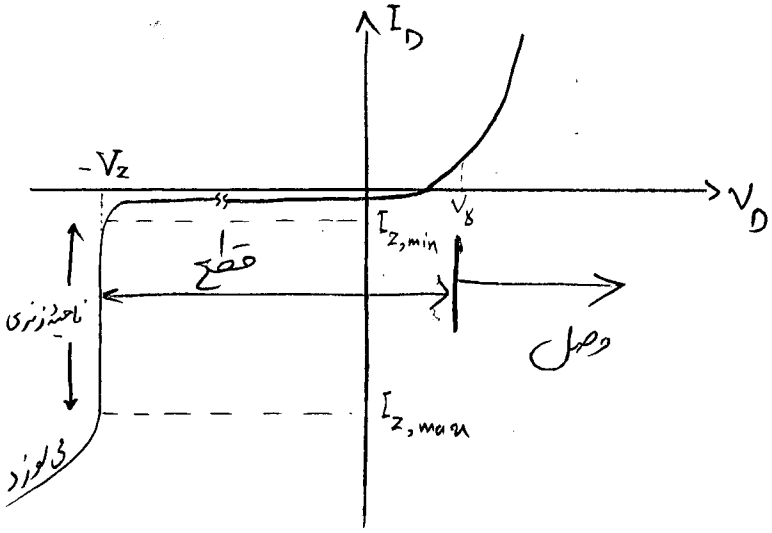
LearnElement.ir

$t \to \infty \Rightarrow V_o = V_m (1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{2}) = 2V_m$

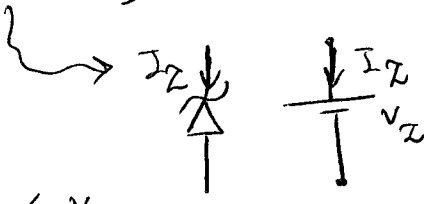
www.baryh-arshad.com

دیود زنر و کاربرد آن در مدارات تنظیم کننده ولتاژ:





در ناحیه زنری $\rightsquigarrow V_D < -V_z$



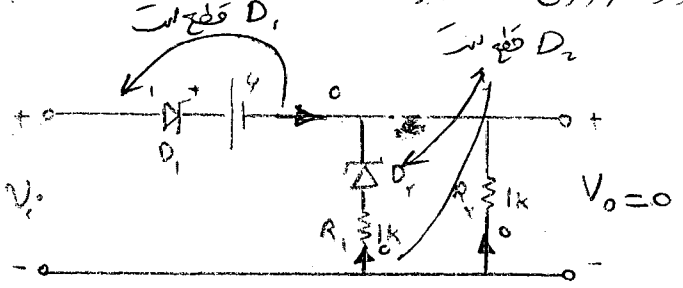
شرط ناحیه زنری:

$$\begin{cases} V_D < -V_z \\ |V_D| > V_z \\ I_{z_k} = I_{z_{min}} < I_z < I_{z(max)} \end{cases}$$

ناحیه قطع: $-V_z < V_D < V_\gamma$

وصل: $V_D > V_\gamma$

برق-۷۹) در شکل زیر ولتاژ آستانه دیودها برابر ۰/۷ ولت و ولتاژ زنری آنها برابر با ۵ ولت می‌باشد. به ازای کدام گستره V_i، $V_o = 0$ می‌شود؟



۱) $1 < V_i < 4.7$

۲) $0 < V_i < 4.7$

۳) $-1 < V_i < 4.7$

۴) $V_i > 4.7$

وقتی D_1 قطع است $\rightsquigarrow -5 < V_D < 0.7$

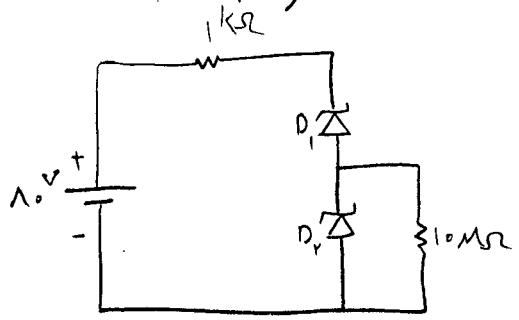
یعنی $-5 < V_i - 6 < 0.7$

$+1 < V_i < 6.7$

LearnElement.ir

برق ۸۳) در مدار مقابل به ازای $V_1 = 80^V$ مقدار جریان Z_2 و ولتاژ Z_2 برابر است با:

$$\begin{cases} Z_1 : V_z = 50^V \ , \ I_{s_1} = 10\mu A \\ Z_2 : V_z = 40^V \ , \ I_{s_2} = 5\mu A \end{cases}$$



۱) $V_{Z_2} = 40^V$ ، $I_{Z_2} = 6\mu A$

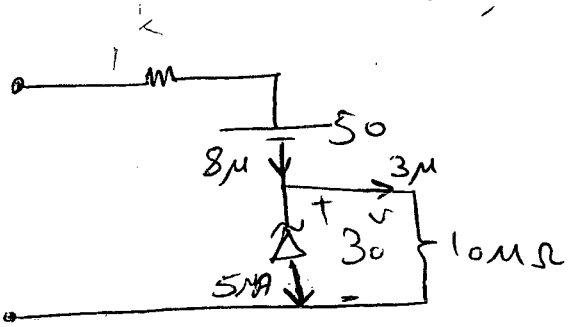
۲) $V_{Z_2} = 40^V$ ، $I_{Z_2} = 4\mu A$

۳) $V_{Z_2} = 50^V$ ، $I_{Z_2} = 5\mu A$

۴) $V_{Z_2} = 30^V$ ، $I_{Z_2} = 6\mu A$

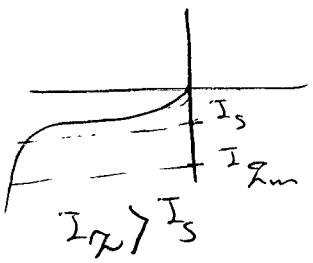
برای اینکه هردو در ناحیه زنری باشند لازم است منبع 80^V باشد.

پس کسی قطع است فعلی زنری:



فرض { D_1 زنری / D_2 قطع }

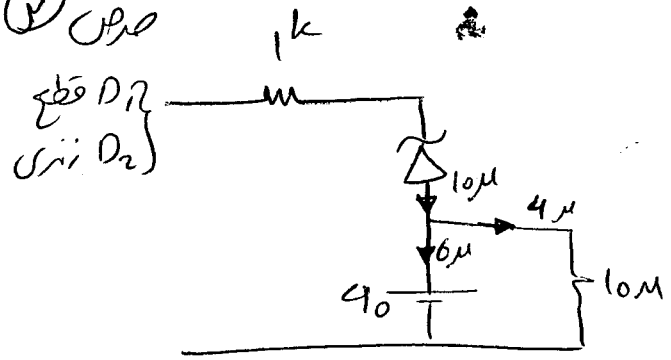
برای اینکه به زنری برسد:



$I_Z > I_S$

پس D_1 در ناحیه زنری است ✗ $8 > 10$

(۲) فرض { D_1 قطع / D_2 زنری }



$6\mu A > I_{S_2}$ ✓

I_{Z_2}

پس فرض ناحیه زنری بودن D_2 صحیح است

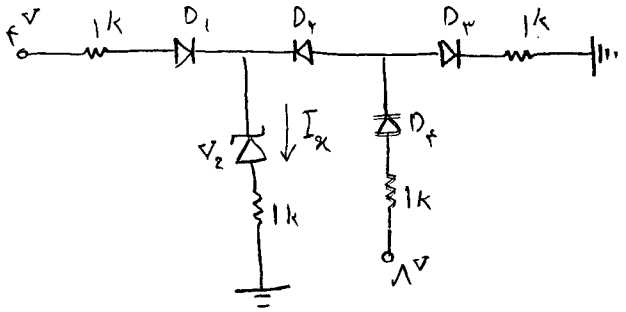
$$V_{D_2} = 90 \ , \ I_{Z_2} = 6\mu A$$

LearnElement.ir

www.bargh-arshad.com

اتوماسیون - ۸۸) در مدار شکل زیر همه دیودهای D_1 تا D_4 ایده‌آل هستند و ولتاژ شکست دیود زنر برابر با ۲ ولت است.

مقدار جریان I_x بر حسب mA چقدر است؟



۱) ۵/۰

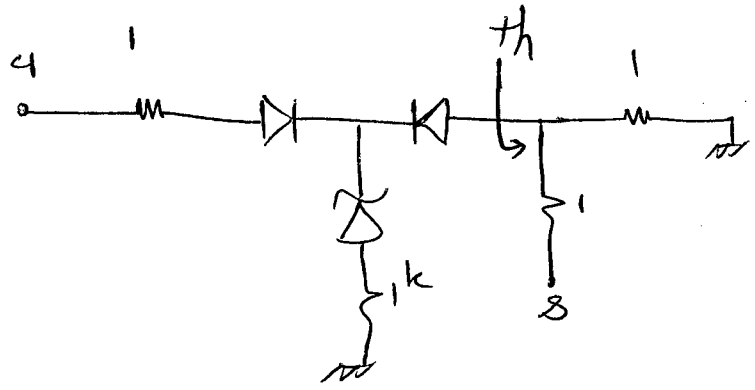
۲) ۱

۳) ۱/۵

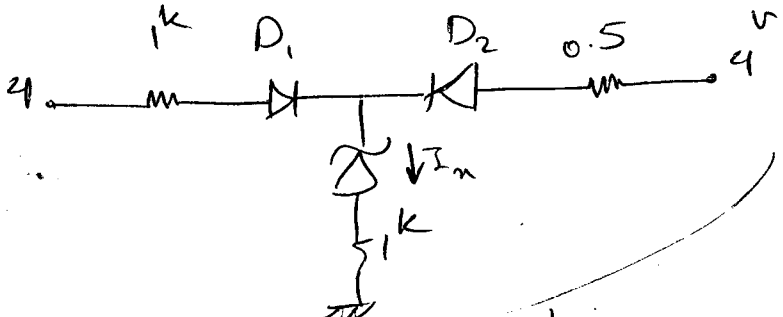
۴) ۲

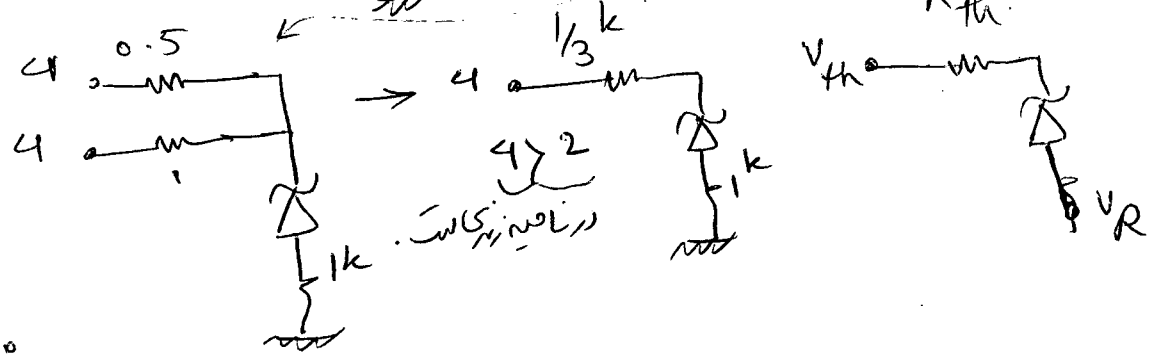
D_4 قطعاً وصل است چون به بزرگترین ولتاژ وصل است.

D_3 " " کوچکترین " " :



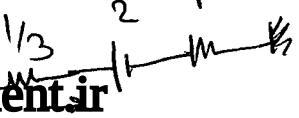
هر دو دیود وصل باشند:





ناحیه زنر: $V_{th} - V_R > V_z$ ناحیه فعال: $V_{th} - V_R < -V_\gamma$ دیود هدایت

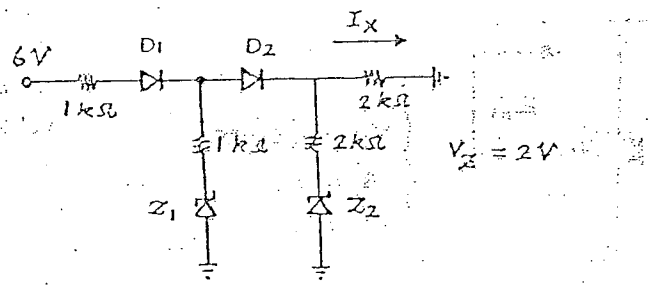
ناحیه قطع: $-V_\gamma < V_{th} - V_R < V_z$ دیود هدایت



LearnElement.ir

$$I_m = \frac{4-2}{\frac{2\times 3}{5}} = 1.5\,mA$$

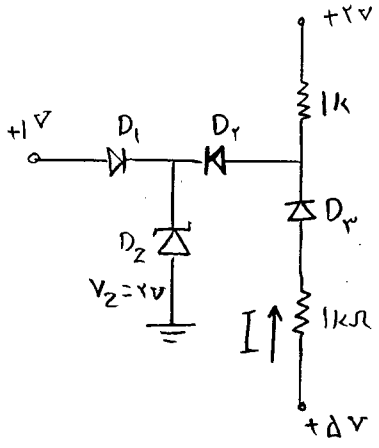
آزاد سراسری ۸۹) در مدار شکل مقابل دیودهای D_1 و D_2 ایده‌آل هستند و ولتاژ شکست دیودهای زنر برابر با ۲ ولت است. مقدار جریان I_X برحسب میلی آمپر (mA) چقدر است؟



۱) ۱
۲) ۱/۵
۳) ۲
۴) ۲/۵

LearnElement.ir

برق - ۸۸) در مدار شکل زیر همهٔ دیودها ایده‌آل هستند. مقدار جریان I بر حسب میلی‌آمپر چقدر است؟



۱) صفر

۲) ۱٫۵

۳) ۲

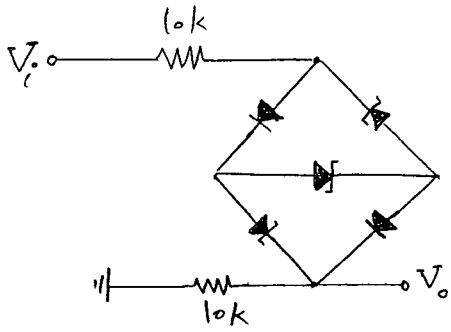
۴) ۳

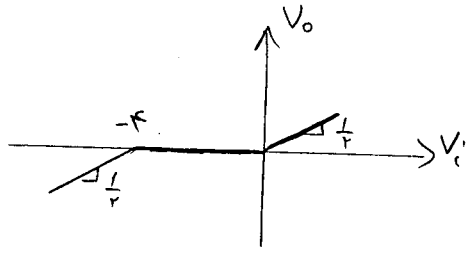
LearnElement.ir

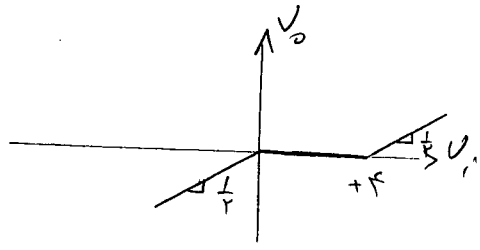
www.barghsharif.com

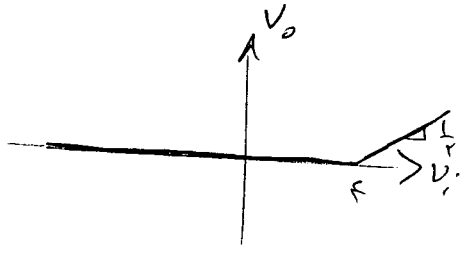
اتوماسیون-۹۰) در مدار زیر دیودها ایده آل هستند. مشخصه ورودی-خروجی آن برابر با کدام گزینه است؟

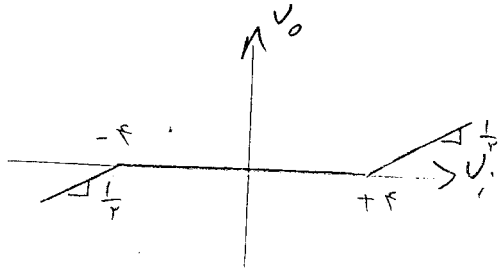
$V_Z = 4V$







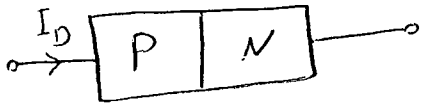


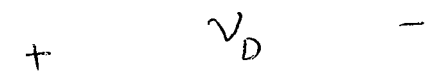


LearnElement.ir

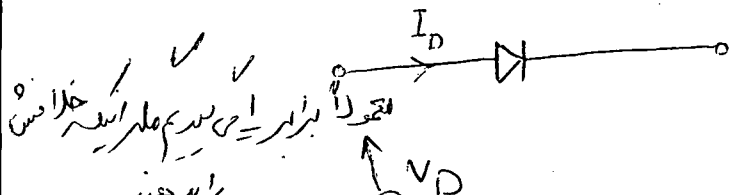
« دیودها و مدارات دیودی »

دیود :





دیود تشکیل شده از یک پیوند PN که مطابق شکل روبرو آنرا نمایش می دهند



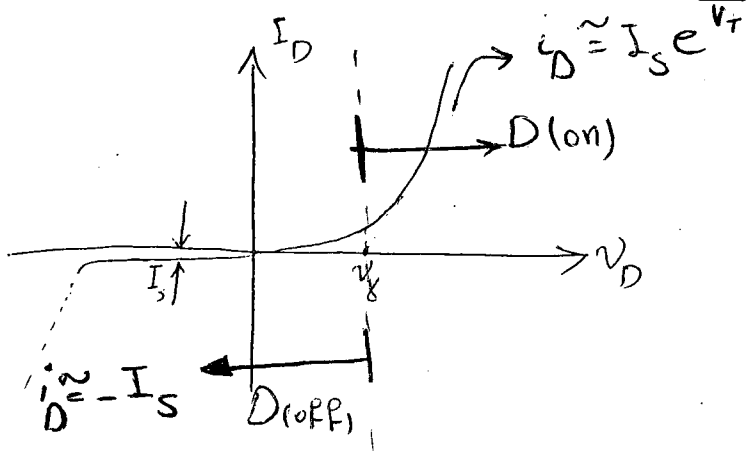
با دهانه جریان دیود و ولتاژ دو سر آن به صورت زیر است :

$$i_D = I_S\left[e^{\frac{v_D}{\eta V_T}} - 1\right] \qquad V_T = 25mV$$

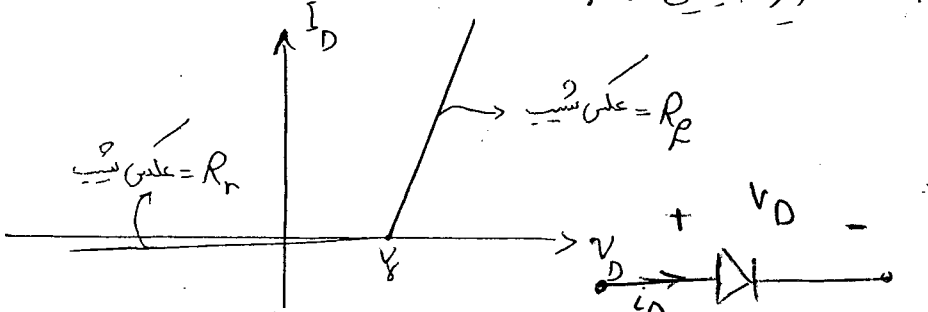
که در رابطه فوق :

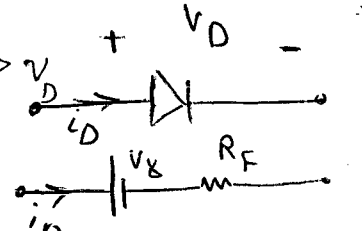
I_S : جریان اشباع معکوس

V_T : ولتاژ آستانه



این تقریب مناسب می توان نمودار فوق را با دو خط زیر جایگزین نمود :





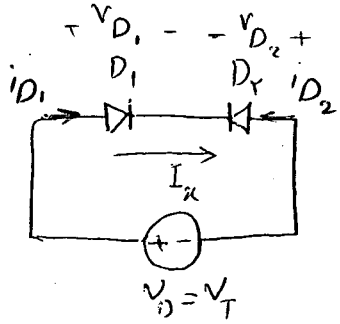
$v_D > V_\gamma \Rightarrow D(on) \Longrightarrow$

$v_D < V_\gamma \Rightarrow D(off) \longrightarrow$

LearnElement.ir

www.barghi-arshad.com

اتوماسیون-۸۸) در مدار شکل زیر دیود های D_1 و D_2 یکسان بوده و جریان اشباع معکوس آنها برابر I_S است. مقدار جریان I_x چقدر است؟



$\eta = 1$

$V_T = \frac{kT}{q}$

۱) $I_S \frac{e}{e+1}$

۲) $I_S \frac{e}{e-1}$

۳) $I_S \frac{e+1}{e-1}$

۴) $I_S \frac{e-1}{e+1}$

$i_D = I_S \left[e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1 \right]$ ← در ناحیه قطع دو عدد دیود این رابطه برقرار است.

جریان دیود دیگر از I_S کمتر باشد.

۲ و ۳ از I_S بیشتر است رد می شوند.

$V_T = V_{D_1} - V_{D_2}$

$I_x = i_{D_1} = -i_{D_2}$

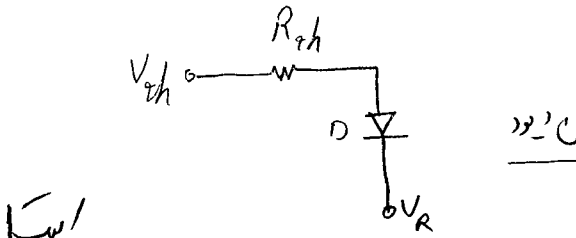
$I_S \left[e^{\frac{V_{D_1}}{V_T}} - 1 \right] = -I_S \left[e^{\frac{V_{D_2}}{V_T}} - 1 \right]$ ($V_{D_2} = V_{D_1} - V_T$)

$\rightarrow \frac{e}{x} - 1 = -e^{\frac{V_{D_1} - V_T}{V_T}} + 1$

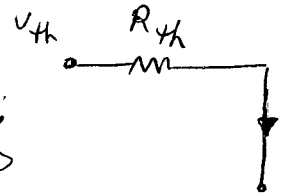
$e^{\frac{V_{D_1}}{V_T}} \times e^{-1}$

$\rightarrow x = x - \frac{x}{e} + 2 \rightarrow x(1 + 1/e) = 2 \rightarrow x = \frac{2e}{e+1}$

$\rightarrow I_x = i_{D_1} = I_S [x - 1] = I_S \left[\frac{2e}{e+1} - 1 \right] = \boxed{I_S \left[\frac{e-1}{e+1} \right]}$



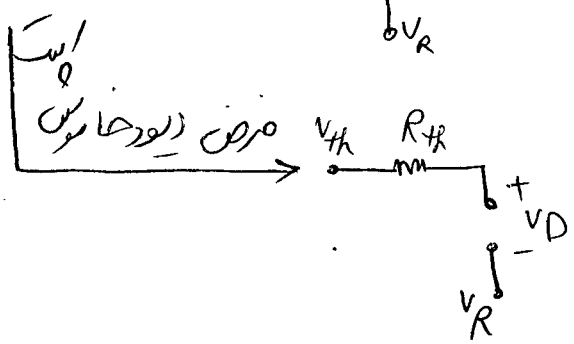
فرض روشن بودن دیود →



برای اینکه i_D مثبت باشد باید رابطه زیر برقرار باشد:

$i_D = \frac{V_{th} - V_R}{R_{th}} > 0 \rightarrow V_{th} > V_R$: D(on)

است. فرض روشن بودن دیود حاصل



$\rightarrow V_D = V_{th} - V_R < 0 \Rightarrow V_{th} < V_R$: D(off).

LearnElement.ir