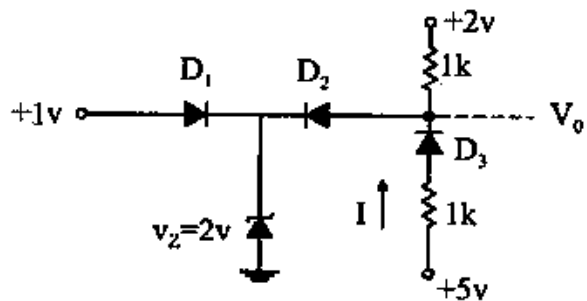


## تحلیل مدارهای دیودی:

در مدار شکل زیر همه دیودها ایده‌آل هستند، مقدار جریان  $I$  را محاسبه کنید.



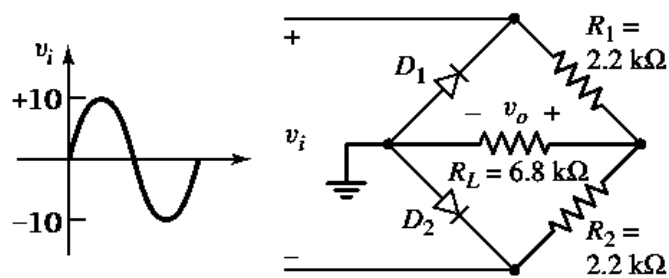
با فرض  $D_2$  خاموش داریم:

$$\frac{V_o - 2}{1k} + \frac{V_o - 5}{1k} = 0 \Rightarrow V_o = 3.5v$$

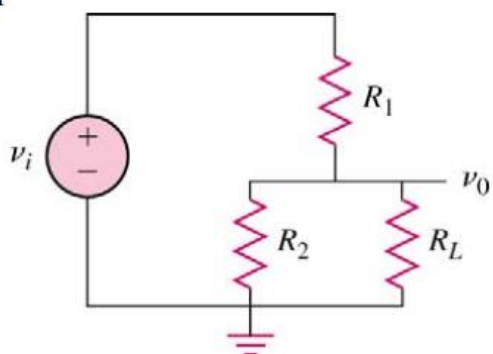
و چون ولتاژ آند  $D_2$  از ولتاژ کاتد آن بیشتر است پس فرض گرفته شده اشتباه است و  $D_2$  روشن است و  $V_z = 2$  است

$$I = \frac{5 - V_z}{1k} = 3mA$$

(۱) در مدارهای شکل زیر ورودی داده شده است. شکل موج خروجی را رسم کنید. (دیودها ایده‌آل هستند).



For  $v_i > 0$ ,

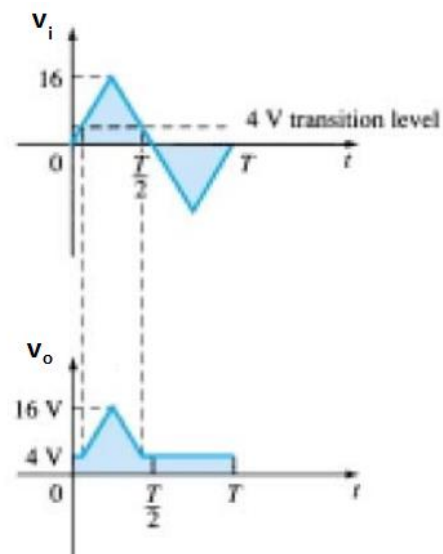
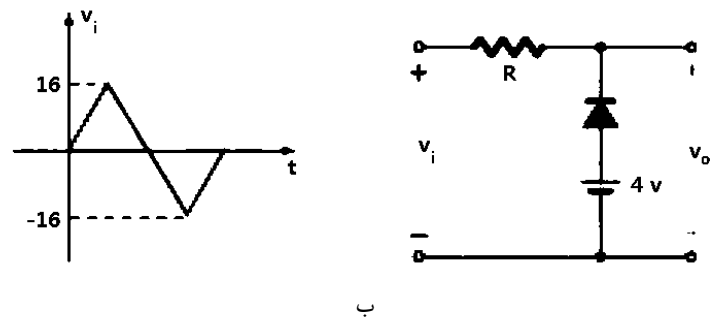


$$v_0 = \left( \frac{R_2 \parallel R_L}{R_2 \parallel R_L + R_1} \right) |v_i|$$

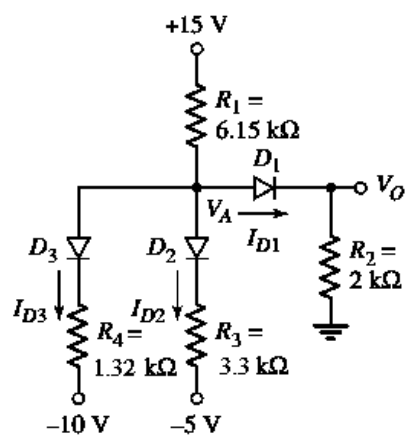
$$R_2 \parallel R_L = 2.2 \parallel 6.8 = 1.66 \text{ k}\Omega$$

$$v_0 = \left( \frac{1.66}{1.66 + 2.2} \right) v_i = 0.43 |v_i|$$





در مدار شکل زیر مقادیر مجهول مشخص شده در شکل را حساب کنید. (برای دیودها  $V_\gamma = 0.7\text{ V}$ )

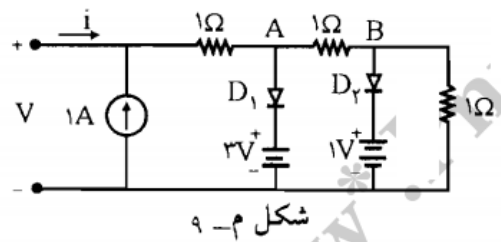


$D_1$  and  $D_2$  cutoff,  $I_{D1} = I_{D2} = 0$

$$I_{D3} = \frac{15 - 0.7 - (-10)}{R_1 + R_4} = \frac{24.3}{6.15 + 1.32} = 3.25\text{ mA}$$

$$V_A = 15 - (3.25)(6.15) = -5\text{ V}$$

دیودها ایده‌آل هستند. مشخصه  $i$  بر حسب  $V$  را در این مدار به دست آورده و رسم کنید.



✓ راه حل:

فرض می‌کنیم هر دو دیود روشن باشند پس داریم:  $D_1, D_2: ON \Rightarrow V_A = 3V \quad V_B = 1V$

$$I_{D_2} = \frac{V_A - V_B}{1\Omega} - \frac{V_B}{1\Omega} = \frac{3-1}{1} - \frac{1}{1} = 1A$$

$$I_{D_1} = \frac{V - V_A}{1\Omega} - \frac{V_A - V_B}{1\Omega} = \frac{V-3}{1} - \frac{3-1}{1} = V-5 > 0 \rightarrow V > 5$$

با شرط  $V > 5$  هر دو دیود روشن می‌باشند و داریم:

$$KVL: V = (i + 1) \times 1\Omega + 3V = i + 4$$

$$پس: V > 5 \Rightarrow \begin{cases} D_1: ON \\ D_2: ON \end{cases}, \quad V = i + 4$$

(1) برای اینکه دیود  $D_2$  خاموش شود باید رابطه زیر را داشته باشیم:

$$V_B < 1V \Rightarrow V \times \frac{1}{3} < 1V \rightarrow V < 3V$$

با استفاده از تقسیم ولتاژ داریم

(II) برای اینکه دیود  $D_1$  خاموش باشد باید رابطه زیر را داشته باشیم:

$$V_A < 3^V \Rightarrow V \times \frac{2}{3} < 3^V \Rightarrow V < 4.5^V$$

که قسمت مشترک دو شرط (I) و (II)،  $V < 3$  می باشد پس داریم:

$$V < 3^V \Rightarrow \begin{cases} D_1: \text{Off} \\ D_2: \text{Off} \end{cases}, V = 2i + 3$$

اگر  $D_1$  خاموش و  $D_2$  روشن باشد داریم:

$$V_A = (V - 1) \times \frac{1}{2} + 1, \quad V_B = 1^V$$

$$ID_2 = \frac{V - 1}{2} - 1 = \frac{V - 3}{2} > 0 \rightarrow V > 3$$

شرط روشن بودن  $D_2$ :

$$V_A < 3 \Rightarrow V \times \frac{1}{2} = \frac{1}{2} < 3 \rightarrow V < 5^V$$

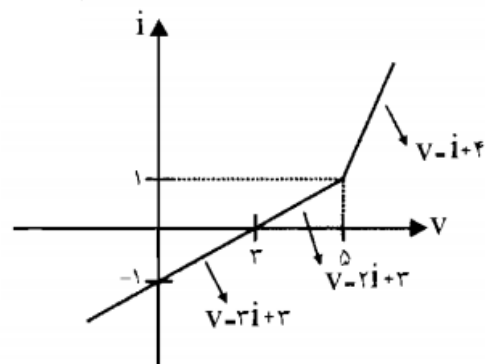
شرط خاموش بودن  $D_1$ :

که قسمت مشترک  $3 < V < 5$  می باشد برای اینکه  $D_1$  خاموش و  $D_2$  روشن باشد.

$$V = (i + 1) \times 2 + 1$$

$$= 2i + 3$$

$$3 < V < 5 \Rightarrow \begin{cases} D_1: \text{OFF} \\ D_2: \text{ON} \end{cases}, V = 2i + 3$$



## تحلیل مدارهای ترانزیستوری:

۱- تحلیل DC: تحلیل DC: از این تحلیل برای بدست آوردن ناحیه کاری ترانزیستورها و همچنین جریان ترانزیستور (برای بدست آوردن  $g_m$  در تحلیل AC) استفاده می‌شود. برای این تحلیل باید مراحل زیر طی شود:

الف) منابع AC صفر شوند.

ب) خازنها اتصال باز شوند.

ج) بررسی ولتاژ گیت سورس ترانزیستور (اگر از ولتاژ آستانه پایینتر باشد ترانزیستور قطع است و جریان ترانزیستور صفر، و اگر بالاتر از ولتاژ آستانه است ترانزیستور در ناحیه کاری اشباع فرض شود و شرایط اشباع برای ترانزیستور بررسی شود).

۲- تحلیل AC: از این تحلیل برای بدست آوردن بهره (ولتاژ و جریان)، مقاومت ورودی و مقاومت خروجی استفاده می‌شود.

الف) منابع DC صفر شوند.

ب) خازنها اتصال کوتاه شوند.

ج)  $g_m$  محاسبه شده و معادل ترانزیستور در مدار جایگذاری شود. مدار را تحلیل کرده و مقادیر خواسته شده محاسبه شود.

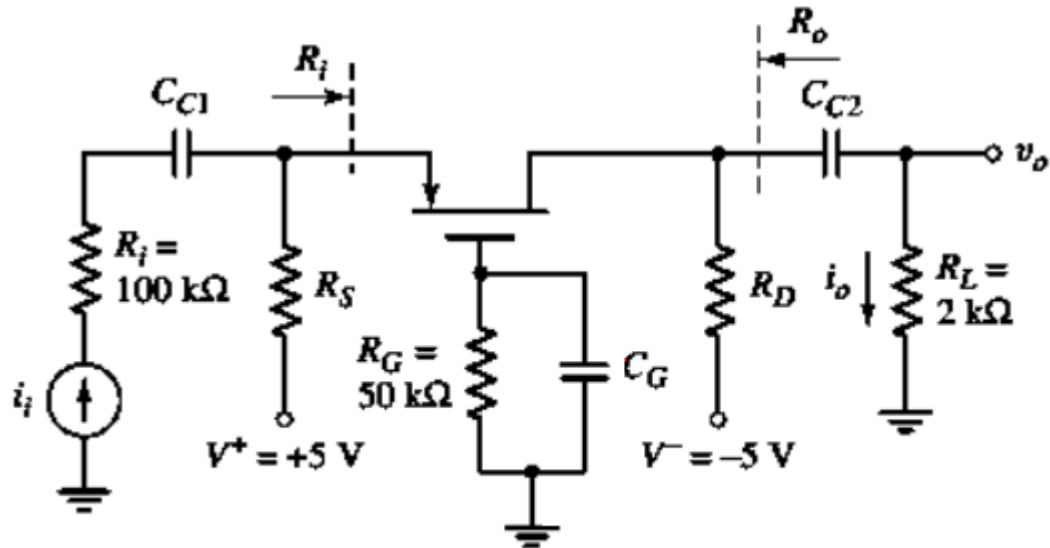
در مدار گیت مشترک شکل زیر ترانزیستور دارای پارامترهای زیر است:

$$V_t = -1 \text{ V} \quad \text{و} \quad \beta = 0.5 \text{ mA/V}^2$$

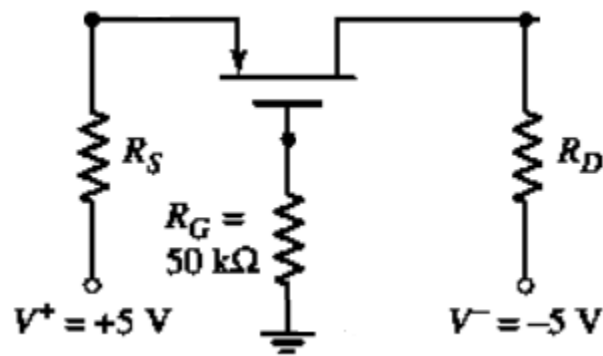
الف) مقاومت‌های  $R_D$  و  $R_S$  را طوری تعیین کنید که  $I_D = 0.75 \text{ mA}$  و  $V_{SD} = 6 \text{ V}$  باشند.

ب) امپدانس ورودی  $R_i$  و امپدانس خروجی  $R_o$  را بدست آورید.

ج) اگر  $i_i = 5 \sin \omega t \text{ (}\mu\text{A)}$  باشد، جریان خروجی  $i_o$  را حساب کنید.







چون نه صواب  $I_D = \frac{\mu_n C_{ox}}{2} (V_{SG} - V_{th})^2$

$$I_{D0} = 0.125 (V_{SG} - 1)^2$$

$$V_{SG} = 1 \pm 1.73 \quad \begin{matrix} 2.73 \checkmark \\ -0.73 \times \end{matrix}$$

چون چون تر است و بزرگتر از صفات دس به  $V_{SG} > V_{th}$  باشد

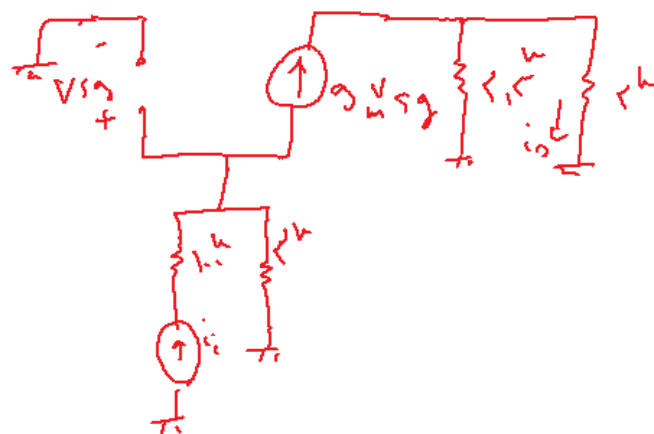
$\Rightarrow$  (اگر از سورس به سمت درین)  $0 = R_S I_D + V_{SG}$

$$R_S = \frac{0 - V_{SG}}{I_D} = \frac{-2.73V}{0.125} = 21.8k$$

$\Rightarrow$  (اگر از سورس به درین)  $10 = (R_S + R_D) I_D + V_{SG}$

$$R_S + R_D = \frac{10}{0.125}$$

$$R_D = \frac{10}{0.125} - 21.8k = 21.8k$$



$$g_m = \sqrt{r_k I_D} = \sqrt{12.5 \times 10^3}$$

$$g_m = 117 \text{ m}$$

$$i_o = \frac{r_k}{r_k + r} \alpha (g_m v_{sg}) = 1.77 v_{sg}$$

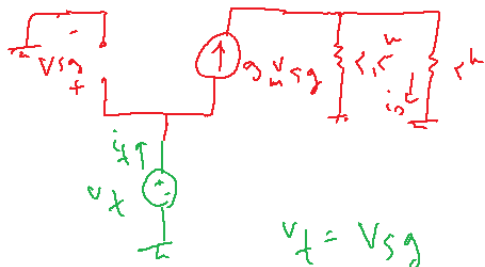
$$-v_{sg} + r_k (i_i - g_m v_{sg}) = 0$$

$$v_{sg} = \frac{r_k i_i}{1 + r_k g_m} = 17.9 \text{ mV} i_i$$

$$i_o = 1.77 \alpha 17.9 \text{ mV} i_i = 1.77 \text{ m} i_i$$

$$i_o = 1.77 \text{ m} (2 \sin \omega t)$$

$$\underline{i_o = 1.97 \text{ mA} \sin \omega t}$$



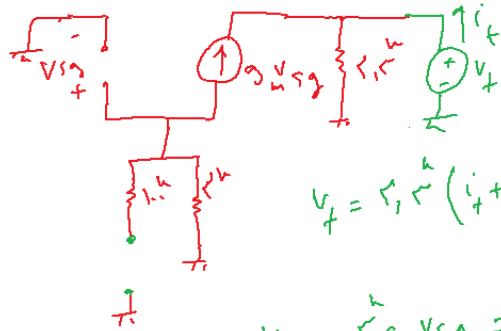
$$v_t = V_{SG}$$

$$i_t = g_m V_{SG}$$

$$V_{SG} = \frac{i_t}{g_m}$$

$$v_t = \underbrace{\left( \frac{1}{g_m} \right)}_{R_i} i_t$$

$$\underline{R_i = 1.14 \text{ k}}$$



$$v_t = r_o (i_t + g_m V_{SG})$$

$$-V_{SG} - r_g g_m V_{SG} = 0$$

$$V_{SG} (1 + r_g g_m) = 0$$

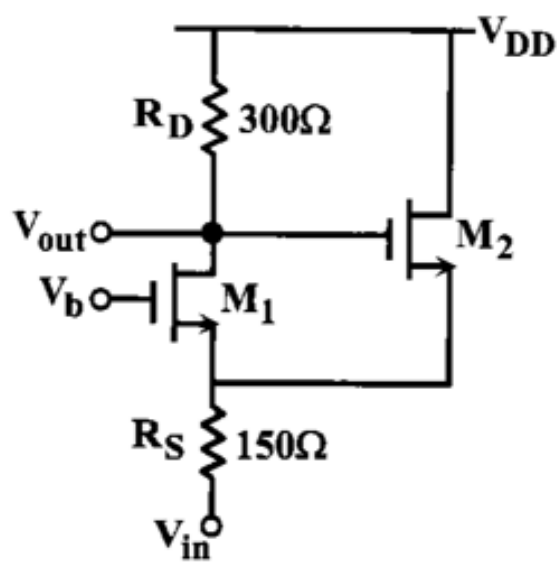
$$V_{SG} = 0$$

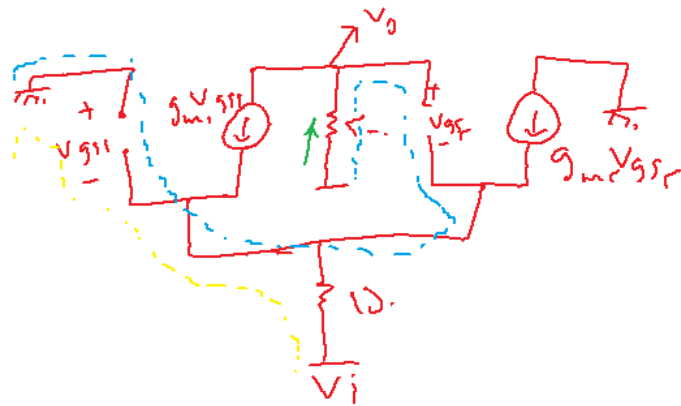
$$v_t = \underbrace{r_o}_{R_o} i_t$$

$$\underline{R_o = r_o}$$

در مدار شکل زیر ترانزیستورها در ناحیه اشباع بایاس شده‌اند. مقدار بهره ولتاژ  $V_{out}/V_{in}$  را بدست آورید.

$$g_{m1} = 10 \text{ mA/V} , \quad g_{m2} = 5 \text{ mA/V}$$





$$V_o = -r_o \cdot g_{m1} V_{gs1} = -r_o (1 - \mu) V_{gs1} = -r_o V_{gs1}$$

ku!  $\Rightarrow V_{gs1} - V_{gsr} - r_o g_{m1} V_{gs1} = 0$

$$V_{gsr} = V_{gs1} (1 - \mu) = -\mu V_{gs1}$$

ku!  $\Rightarrow V_{gs1} + I_D \cdot (g_{m1} V_{gs1} + g_{m2} V_{gsr}) + V_i = 0$

$$V_{gs1} + I_D \cdot (1 \cdot V_{gs1} + \mu (-\mu V_{gs1})) + V_i = 0$$

$$V_{gs1} = -V_i$$

$$V_o = -r_o (-V_i) = r_o V_i$$

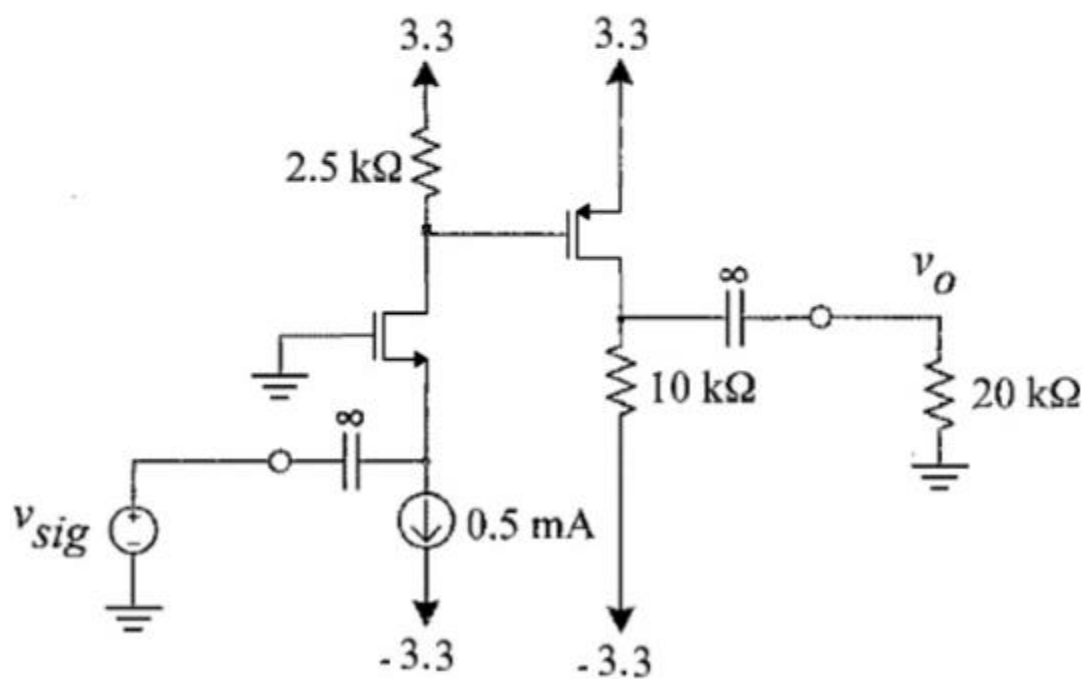
در مدار شکل زیر ترانزیستورها دارای مشخصات زیر می‌باشند.

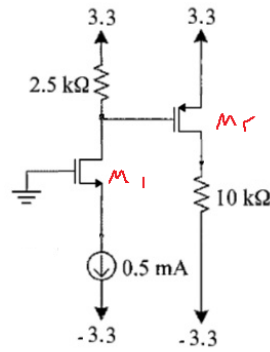
NMOS  $k=2.5 \text{ mA/V}^2$  و  $V_t=0.8 \text{ V}$

PMOS  $k=2.5 \text{ mA/V}^2$  و  $V_t=-0.8 \text{ V}$

الف) بهره ولتاژ  $v_o/v_{sig}$  را بیابید.

ب) مقاومت خروجی از دو سر  $v_o$  را پیدا کنید.





$$I_{D1} = 70 \mu A$$

$$V_{GS1} = 1.5 V, V_{GS2} = 1.5 V$$

$$I_{D1} = 70 \mu A \Rightarrow I_{D2} = 1.5 V (1.5 V) = 1.5 \mu A$$

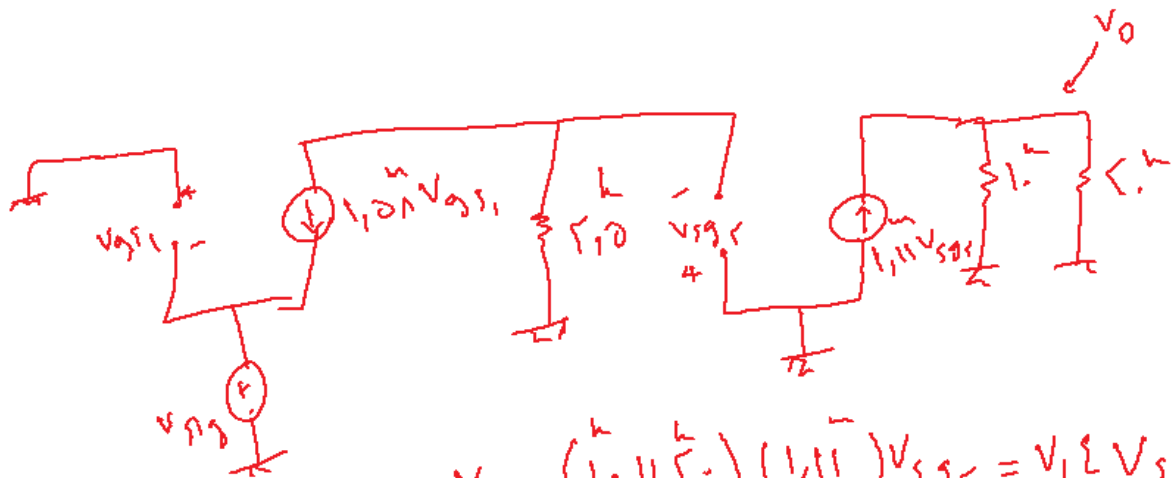
$$V_{DS1} = 3.3 - 1.5 I_{D1} = 1.1$$

$$V_{GS1} = V_{GS2} = V_{GS}$$

$$V_{GS} = 1.5 V \checkmark$$

$$g_{m1} = \sqrt{2 \mu_n I_{D1}} = \sqrt{2 \times 1.5 \times 1.5} = 1.5 \mu A/V$$

$$g_{m2} = \sqrt{2 \mu_n I_{D2}} = \sqrt{2 \times 1.5 \times 1.5} = 1.5 \mu A/V$$



$$v_o = (1 // R_D) (g_m) v_{gs2} = V_{12} v_{gs2}$$

$$v_{gs2} + R_{sig2} (g_{m1}) v_{gs1}$$

$$v_{gs2} = -R_{sig2} g_{m1} v_{gs1}$$

$$v_{gs1} = -v_{sig}$$

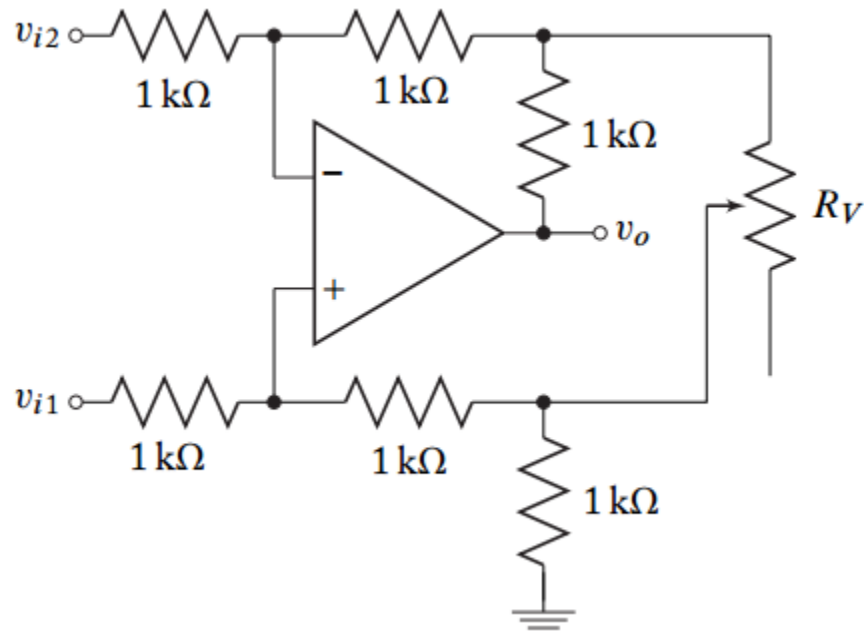
$$v_o = (V_{12}) (-R_{sig2} g_{m1}) v_{sig}$$

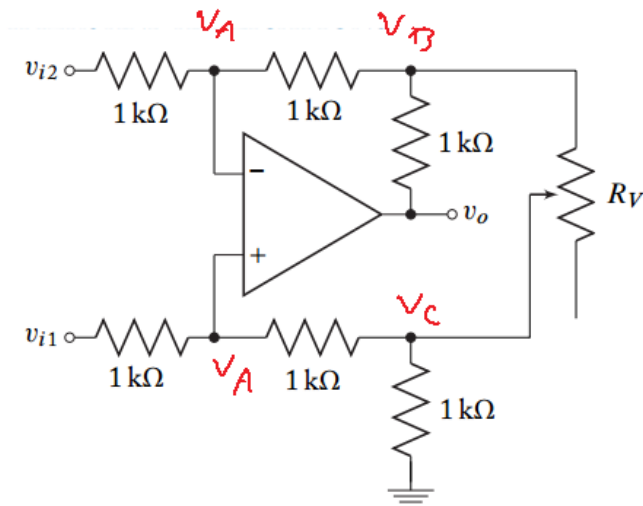
$$\frac{v_o}{v_{sig}} = 49.5$$



### تحلیل مدارهای آپ-امپی:

The circuit shown is a variable-gain difference amplifier. Determine an expression for the gain as a function of the fixed resistors and the variable resistor,  $R_V$ .





$$(KCL)_{v_A} \quad \frac{V_A - v_{i2}}{1} + \frac{V_A - V_B}{1} = 0$$

$$V_B = 2V_A - v_{i2} \quad (1)$$

$$(KCL)_{v_B} \quad \frac{V_B - v_o}{1} + \frac{V_B - V_A}{1} + \frac{V_B - v_C}{R_V} = 0$$

$$V_B (R_V + 1) - R_V v_o - V_A - v_C = 0 \quad (2)$$

$$(KCL)_{v_C} \quad \frac{v_C - V_B}{R_V} + \frac{v_C}{1} + \frac{v_C - V_A}{1} = 0$$

$$v_C (R_V + 1) - R_V V_A - V_B = 0 \quad (3)$$

$$(KCL)_{v_A} \quad \frac{V_A - v_{i1}}{1} + \frac{V_A - v_C}{1} = 0$$

$$v_C = 2V_A - v_{i1} \quad (4)$$

حالت ۱:  $(r, r, r) \leftarrow [1]$

$$\{1, 1, 1\} \rightarrow (V_A - V_{ir})(2R_v + 1) - R_v V_A - R_v V_0 - (V_A + V_{il}) = 0$$

$$V_A (2R_v + 1 - R_v - 1) - R_v V_0 = V_{ir} (2R_v + 1) - V_{il} \quad (5)$$

$$\{1, 1, 3\} \rightarrow (V_A - V_{il})(2R_v + 1) - R_v V_A - (V_A + V_{ir}) = 0$$

$$V_A (2R_v + 1 - R_v - 1) = V_{il} (2R_v + 1) - V_{ir} \quad (6)$$

حالت ۲:  $(r, r, r) \leftarrow [2]$

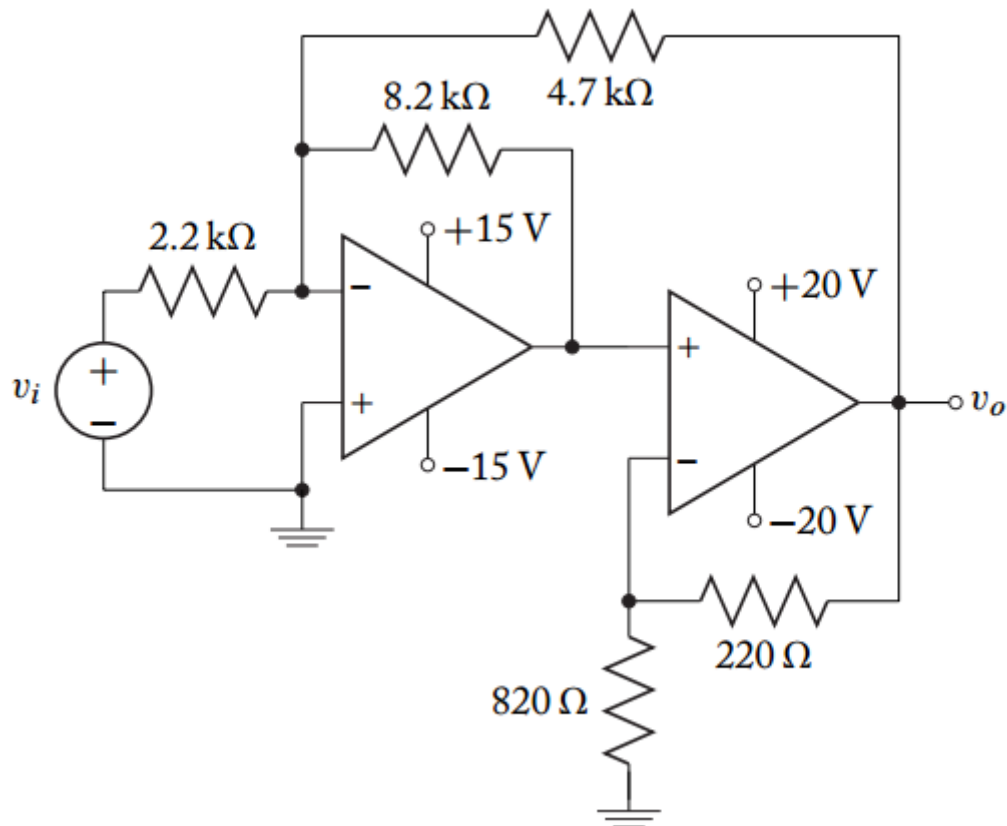
$$R_v V_0 = V_{il} (2R_v + 1) - V_{ir} - V_{ir} (2R_v + 1) \rightarrow V_{il}$$

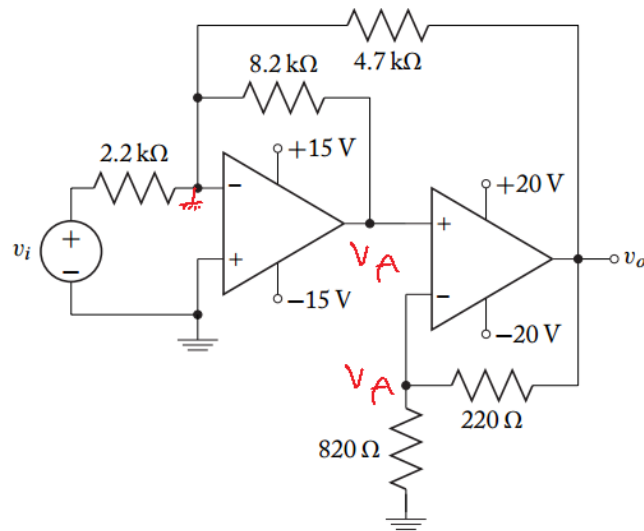
$$V_0 = \frac{(2R_v + 1)(V_{il} - V_{ir})}{R_v}$$

## تحلیل مدارهای آپ-امپی:

Given the attached circuit constructed with ideal OpAmps.

- Determine the output voltage as a function of the input voltage in the given circuit.
- At what input voltages will the output saturate?





$$\text{KCL at } v_A \rightarrow \frac{v_i - v_A}{2.2k} + \frac{v_A - v_o}{4.7k} + \frac{v_A - v_o}{8.2k} = 0$$

$$11.18 v_o + 1.175 v_A = -51.28 v_i \quad (1)$$

$$\text{KCL at } v_o \rightarrow \frac{v_A - v_o}{4.7k} + \frac{v_A - v_o}{8.2k} = 0$$

$$v_A = 0.1778 v_o \quad (2)$$

$$\text{Sub (2) into (1)} \quad 11.18 v_o + 1.175 \times 0.1778 v_o = -51.28 v_i$$

$$v_o = -\frac{51.28}{14.11} v_i$$

$$v_o = -3.63 v_i$$

آب - آب زه‌نی مشام من لکه‌د اندازه دت غرضه آب - آب  
از دت غرضه آب - آب با دسر باره بنابرین  
داریم

$$v_0 > 12$$

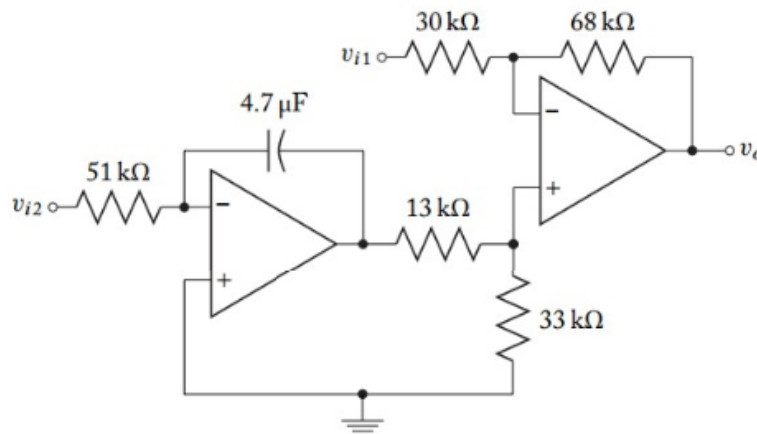
$$|1,47v_i| > 12$$

$$17,1 > 1,57$$

$$v_i > 1,57 \text{ , } v_i < -1,57$$

## مدار مرتبه اول با آپ-امپ:

Determine the output voltage,  $v_o$ , as a function of the two input voltages,  $v_{i1}$  and  $v_{i2}$ , for the given circuit.

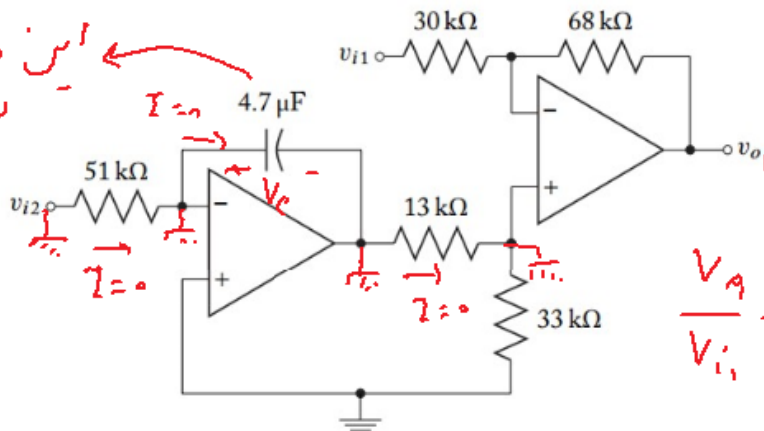


چون دو منبع مستقل داریم از جمع آثار استناد می‌کنیم.

ابتدا  $v_{i2} = 0$

← این خازن شارژ نمی‌شود

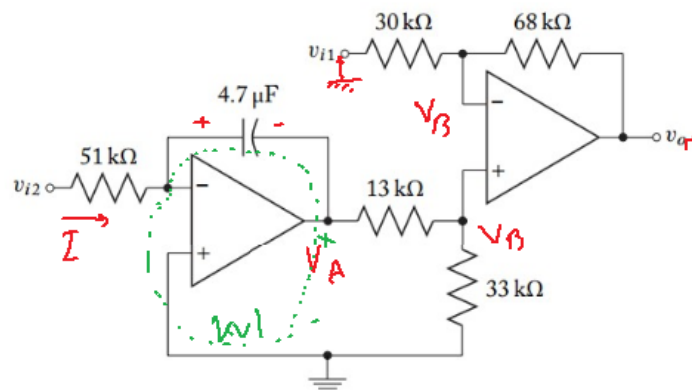
$V_c = 0$



$$\frac{V_{o1}}{V_{i1}} = -\frac{78}{30}$$

$$v_{o1} = 2.6 v_{i1}$$

با من کردن  $v_{i1}$  داریم



$$I = \frac{v_{i2}}{51k}$$

$$v_A = -v_C = -\frac{1}{C} \int i dt = i(-)$$

$$v_A = -\frac{1}{C} \int \frac{v_{i2}}{51k} dt = -\frac{1}{51k \times 4.7 \mu F} \int v_{i2} dt = -21.14 \int v_{i2} dt$$

تبدیل

$$v_B = \frac{33}{33+13} v_A = \frac{33}{46} v_A = 0.71 v_A$$

تبدیل  
تبدیل  
تبدیل

$$v_{o2} = \left(1 + \frac{68}{33}\right) v_B = 2.27 v_B$$

درص

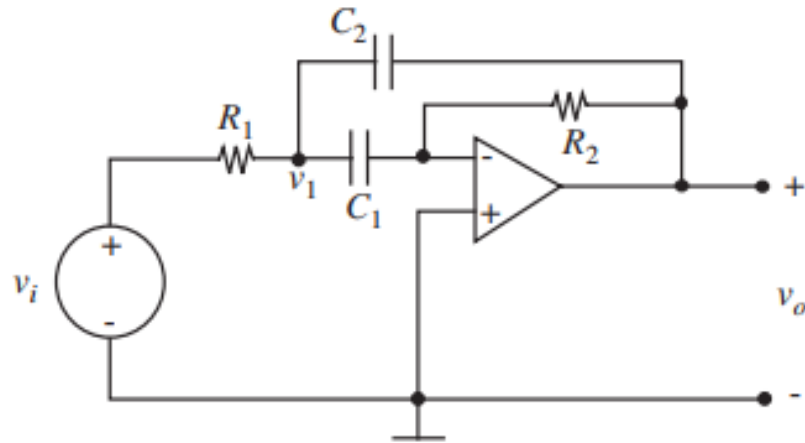
$$v_{o2} = -2.27 \times 0.71 \times 21.14 \int v_{i2} dt$$

$$v_{o2} = -9.7 \int v_{i2} dt$$



$$V_o = V_{o1} + V_{o2} = 1,17 v_{11} - 9,72 \int v_{12} dt$$

مدار مرتبه دوم با آپ-امپ:



For Node  $v_1$ ,

$$(v_i - v_1)g_1 - C_1 \frac{dv_1}{dt} + C_2 \frac{d(v_o - v_1)}{dt} = 0$$

and for Node  $v^-$

$$C_1 \frac{dv_1}{dt} + v_o g_2 = 0.$$

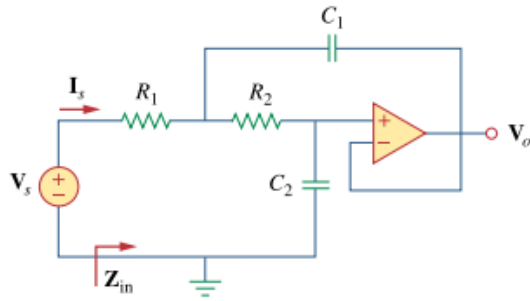
$$v_i g_1 = g_1 v_1 + (C_1 + C_2) \frac{dv_1}{dt} - C_2 \frac{dv_o}{dt}$$

$$0 = C_1 \frac{dv_1}{dt} + v_o g_2.$$

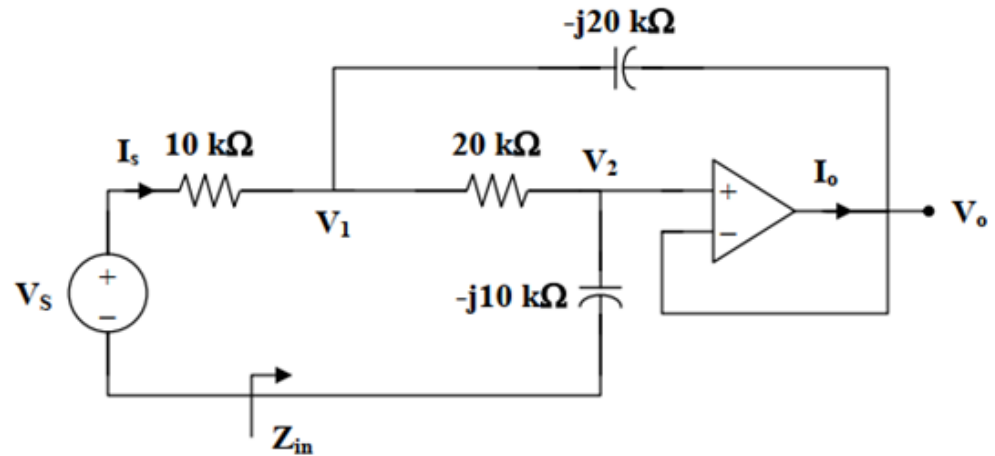
$$\frac{d^2 v_o}{dt^2} + g_2 \frac{C_1 + C_2}{C_1 C_2} \frac{dv_o}{dt} + \frac{g_1 g_2}{C_1 C_2} v_o = -\frac{g_1}{C_2} \frac{dv_i}{dt}.$$

### حالت دائمی سینوسی با آپ-امپ:

If the input impedance is defined as  $Z_{in} = V_s / I_s$  find the input impedance of the op amp circuit in Fig. 10.116 when  $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 20 \text{ k}\Omega$ ,  $C_1 = 10 \text{ nF}$ , and  $\omega = 5000 \text{ rad/s}$ .



Consider the circuit in the frequency domain as shown below.



As a voltage follower,  $V_2 = V_o$

$$C_1 = 10 \text{ nF} \longrightarrow \frac{1}{j\omega C_1} = \frac{1}{j(5 \times 10^3)(10 \times 10^{-9})} = -j20 \text{ k}\Omega$$

$$C_2 = 20 \text{ nF} \longrightarrow \frac{1}{j\omega C_2} = \frac{1}{j(5 \times 10^3)(20 \times 10^{-9})} = -j10 \text{ k}\Omega$$

At node 1,

$$\begin{aligned}\frac{\mathbf{V}_s - \mathbf{V}_1}{10} &= \frac{\mathbf{V}_1 - \mathbf{V}_o}{-j20} + \frac{\mathbf{V}_1 - \mathbf{V}_o}{20} \\ 2\mathbf{V}_s &= (3 + j)\mathbf{V}_1 - (1 + j)\mathbf{V}_o\end{aligned}\tag{1}$$

At node 2,

$$\begin{aligned}\frac{\mathbf{V}_1 - \mathbf{V}_o}{20} &= \frac{\mathbf{V}_o - 0}{-j10} \\ \mathbf{V}_1 &= (1 + j2)\mathbf{V}_o\end{aligned}\tag{2}$$

Substituting (2) into (1) gives

$$2\mathbf{V}_s = j6\mathbf{V}_o \quad \text{or} \quad \mathbf{V}_o = -j\frac{1}{3}\mathbf{V}_s$$

$$\mathbf{V}_1 = (1 + j2)\mathbf{V}_o = \left(\frac{2}{3} - j\frac{1}{3}\right)\mathbf{V}_s$$

$$\mathbf{I}_s = \frac{\mathbf{V}_s - \mathbf{V}_1}{10k} = \frac{(1/3)(1 + j)}{10k}\mathbf{V}_s$$

$$\frac{\mathbf{I}_s}{\mathbf{V}_s} = \frac{1 + j}{30k}$$

$$\mathbf{Z}_{in} = \frac{\mathbf{V}_s}{\mathbf{I}_s} = \frac{30k}{1 + j} = 15(1 - j)k$$

$$\mathbf{Z}_{in} = \underline{\underline{21.21\angle -45^\circ \text{ k}\Omega}}$$

## آپ-امپ غیر ایده آل:

جایگزینی آپ-امپ با مدار زیر:

