زمستان ۹۸ حل تمرین الکتریک V مدار یک

حل سؤال ۱

$$v_{out_1} = -V_1 \frac{2K}{1K} - V_2 \frac{2K}{0.5K} = -2V_1 - 4V_2$$

مقاومت 0.5K در ورودی OpAmp از چون سری با مقاومت بسیار بالای ورودی OpAmp است بی اثر می باشد

در OpAmp از ورودی منفی باید با v_{out_1} برابر باشد معادله جریان را در این OpAmp می نویسیم.

$$\frac{V_3 - v_{out_1}}{1K} = \frac{v_{out_1} - v_{out}}{1K} \Rightarrow v_{out} = 2v_{out_1} - V_3$$

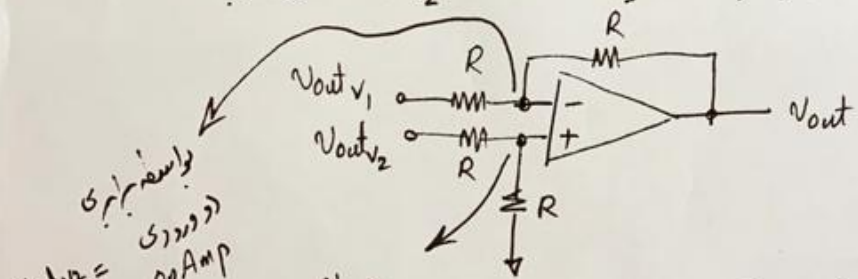
$$\Rightarrow v_{out} = 2(-2V_1 - 4V_2) - V_3 = -4V_1 - 8V_2 - V_3$$

حل سؤال ۲

در OpAmp های اولی سلف وارونگر داریم و خروجی های هرکدام

$$v_{out_{V_1}} = -10 \qquad v_{out_{V_2}} = -10$$

در OpAmp سوم می توانیم از سوپر پوزیشن استفاده کنیم و یا بصورت همزمان دنبال جواب ها برویم. در ورودی مثبت OpAmp سوم ولتاژ برابر یک تقسیم ولتاژ $v_{out_{V_2}}$ خواهد بود



بواسطه برابری ورودی OpAmp

$\frac{v_{out_{V_2}}}{2} = \frac{v_{out_{V_2}}}{2}$

در نتیجه برای دو مقاومت بالا می توان نوشت

$$\frac{v_{out_{V_1}} - \frac{v_{out_{V_2}}}{2}}{R} = \frac{\frac{v_{out_{V_2}}}{2} - v_{out}}{R}$$

$$\Rightarrow v_{out} = v_{out_{V_2}} - v_{out_{V_1}} = -10(V_1 - V_2)$$

۲/13

$-5 < v_{out_{V_1}} < 5$ $\qquad$ $-5 < v_{out_{V_2}} < 5$

$-5 < 10V_1 < 5$ $\qquad$ $-5 < 10V_2 < 5$

$\Rightarrow -0.5 < V_1 < 0.5$ $\qquad$ $-0.5 < V_2 < 0.5$

$-5 < v_{out} < 5$

$-5 < -10(v_2 - v_1) < 5$

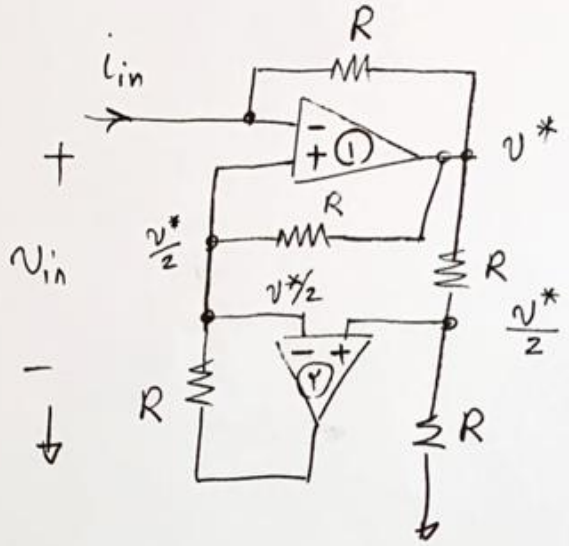
$-0.5 < v_2 - v_1 < 0.5$

اگر V_1 و V_2 زیر ± 0.5 باشند چون بیشه طبقه دوم برای V_1 و V_2 به تنهایی یک است طبقه دوم هرگز به اشباع نمی‌رود.

$$\Rightarrow \begin{cases} |v_1| < 0.5 \\ |v_2| < 0.5 \\ |v_1 - v_2| < 0.5 \end{cases}$$

حل سؤال ۳

۳/13



$$R\left(\frac{v^*}{2} - v^*\right) = i_{in} \Rightarrow -\frac{v^*}{2} = R\,i_{in}$$

$$\Rightarrow -v_{in} = R\,i_{in} \Rightarrow \frac{v_{in}}{i_{in}} = -R$$

خروجی opAmp ① را v^* نامیدیم.

ولتاژ ورودی ⊕ در opAmp ② $\frac{v^*}{2}$ می‌شود (چون جریان وارد opAmp نمی‌شود) و ولتاژ ورودی ⊖ opAmp شماره ② با آن برابر می‌شود و از آنجا ولتاژ ورودی ⊕ و ⊖ در opAmp شماره ① هم برابر $\frac{v^*}{2}$ می‌شوند.

و مقاومت ورودی منفی می‌گردد.

توجه: opAmp ① هم فیدبک مثبت دارد هم منفی

opAmp ② در ظاهر فقط فیدبک منفی دارد.

ولی در داخل یک حلقه بزرگ فیدبک مثبت است.

وقتی حلقه‌های فیدبک تو در تو است تشخیص نوع فیدبک سخت می‌شود. در این حالت فرض می‌کنیم فیدبک‌های منفی در مدار در حالت خطی است ... و اگر به تناقض نرسیدیم درست است.

سؤال ۴

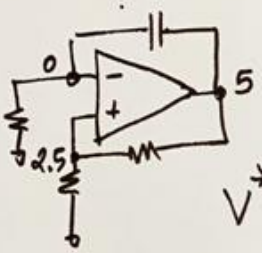
در مدار زیر از سمت بالا فیدبک منفی داریم و از سمت پائین فیدبک مثبت.

مدار (a) دارای دو وضعیت پایدار است.

اگر خروجی به ولتاژ +5 چسبیده باشد

$V^* = 0 \quad V_+ = 2.5V \quad V_{out} = 5V$

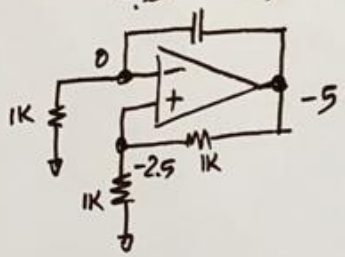
که وضعیت پایداری است چون ورودی نامساوی در OpAmp آنرا تبدیل به مقایسه‌گر کرده است و ولتاژها کاملاً برای وضعیت پایدار مناسبند.



اگر خروجی به ولتاژ -5 چسبیده باشد

$V^* = 0 \quad V_+ = -2.5 \quad V_{out} = -5$

باز هم وضعیت پایداری است باز هم OpAmp تبدیل به مقایسه‌گر شده و ورودی منفی در صفر و ورودی + در -2.5 خروجی -5 پایدار می‌باشد



در مدار (b) دارای دو وضعیت نوسانی هستیم

در حالتی که $V_{out} = +5$ ولت باشد

$V_{+\text{ورودی}} = 2.5$ volt

است

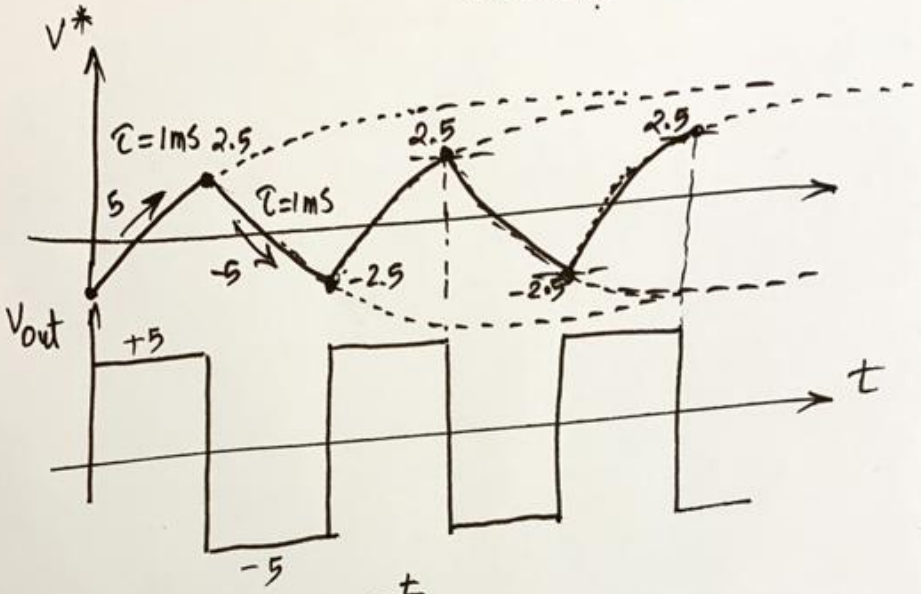
و اگر ولتاژ خازن زیر 2.5 ولت باشد خروجی در +5 می‌ماند.

امّا در این وضعیت خازن در حال شارژ شدن به سمت ۵ ولت خواهد بود. وقتی ولتاژ خازن به 2.5 برسد و از 2.5 کمی بالاتر رود خروجی مقایسه‌گر

۵/۱۳ از +5 به -5 سقوط می‌کند. در این وضعیت باز مقایسه‌گر در حالت پایدار است

$V_0 = -5V$ $\quad V_+ = -2.5$ (ورودی) $\quad V_- = 2.5^+$ (ورودی)

سلف خازن از +2.5 ولت به سمت -5 ولت می‌رود و در وسط راه تا به -2.5 رسیده اندکی از آن کاهش یابد خروجی از -5 ولت ناگهان به +5 ولت پرش می‌کند.



$$V^* = (V_i - V_f)e^{-\frac{t}{\tau}} + V_F = 2.5$$

$V_i = -2.5$ $\quad V_f = 5$ $\quad V_F = 5$

$$-7.5\, e^{-\frac{t}{1ms}} + 5 = 2.5$$

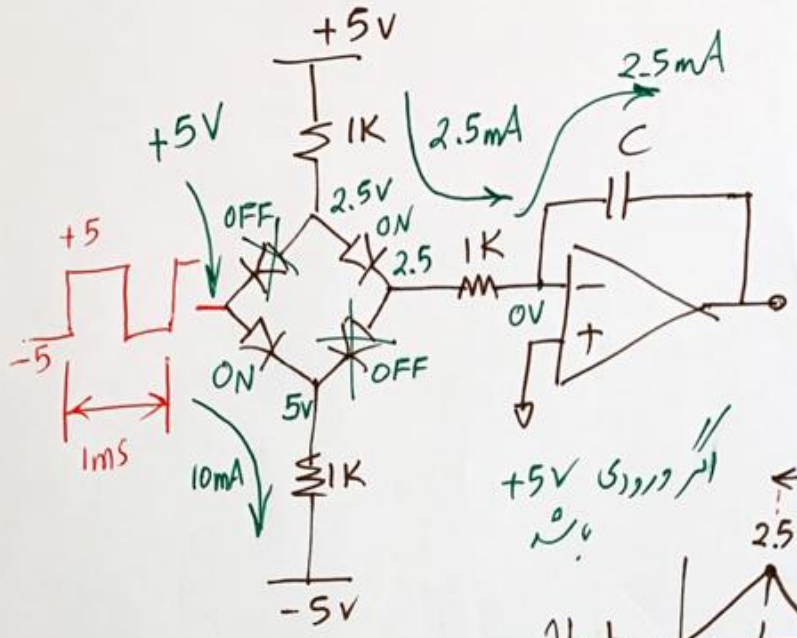
$$e^{-\frac{t}{1ms}} = \frac{-2.5}{-7.5} = \frac{1}{3} \qquad t = 1.098\ ms$$

$$\Rightarrow T = 2(1.098\ ms)$$

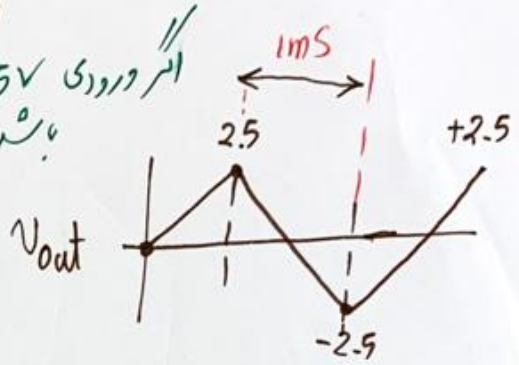
$$f = 455.3\ Hz$$

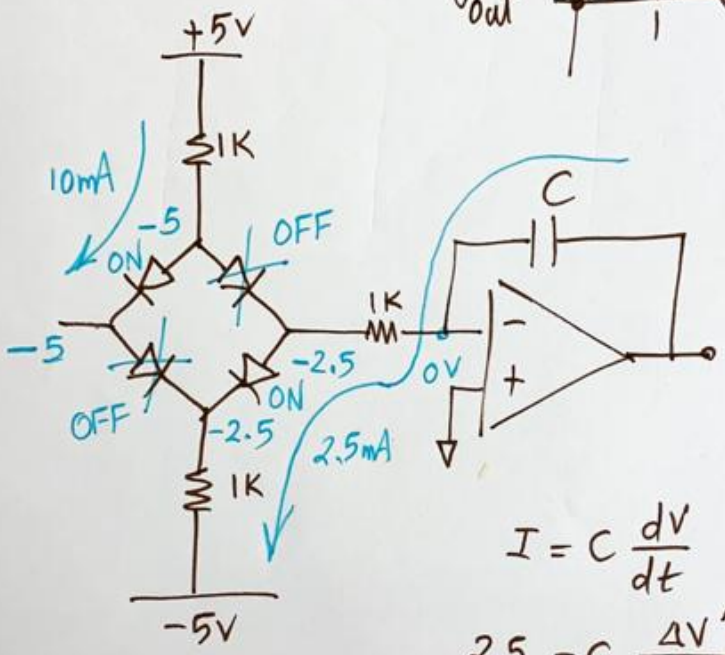
9/13

حل سؤال ۹



اگر ورودی +5V باشد





$$I = C\frac{dV}{dt}$$

5V

$$2.5\ \text{mA} = C\frac{\Delta V}{\Delta t}$$

1ms

$$C = \frac{2.5\text{mA}\,(1\text{mSec})}{5\text{V}} = 0.5\,\mu\text{F}$$

حل مسأله ۶

V/13

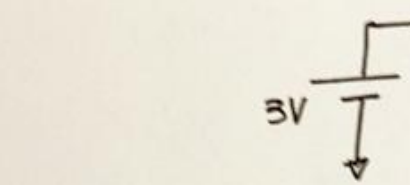
$V_{ref}=2 \quad V_{in}=0 \quad V_-=2$

در مورد یک KCL می‌نویسیم

$$\frac{V_-}{2K}=\frac{V_{out}-V_-}{1K}$$

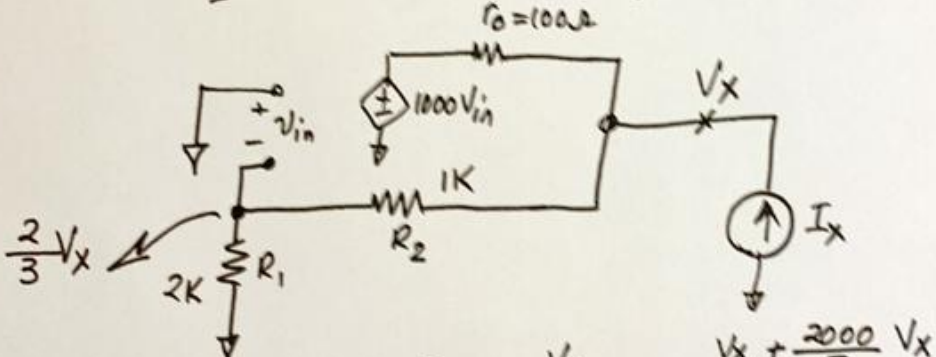
$$\Rightarrow V_{out}=3V$$

ب: مدار معادل در خروجی: یک OpAmp ایده‌آل دارای مقاومت خروجی صفر است و در نتیجه مدار معادل در خروجی



یک منبع تغذیه ۳ ولت است.

ج: برای محاسبه مقاومت خروجی (یا معادل Thevenin) ولتاژ خروجی منبع سیگنال ورودی را صفر می‌کنیم یعنی short circuit



در خروجی KCL

$$I_x=\underbrace{\frac{V_x}{1K+2K}}_{\text{جریان در مقاومت}}+\underbrace{\frac{V_x+\frac{2000}{3}V_x}{100\Omega}}_{\text{جریان در }100\Omega}$$

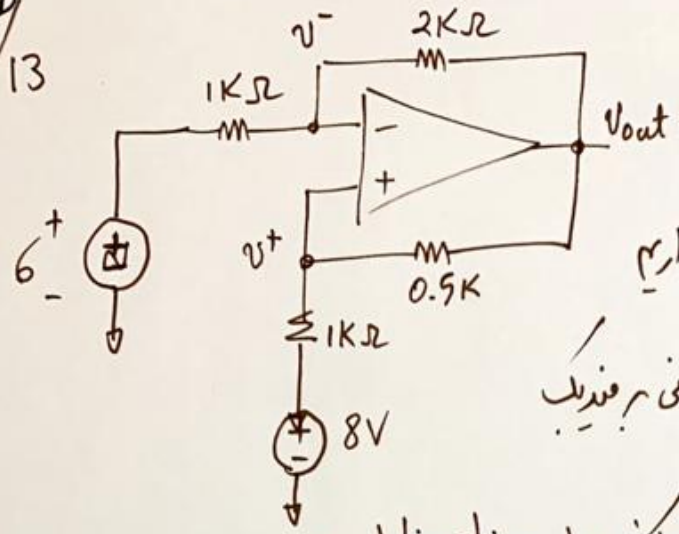
$$\Rightarrow \frac{V_x}{I_x}=3K\parallel\frac{100}{1+\frac{2000}{3}}=3K\parallel\frac{100}{666.6+1}\cong\frac{100}{667}=0.15\Omega$$

ولتاژ ورودی	R_1	R_2	خروجی
2	2K	1K	3
2	1K	1K	4
2	0.8K	1K	4.5

(د

7/13 b

۳۰- الف



الف -

هم فیدبک مثبت داریم

هم منفی

ممکن است فیدبک منفی بر فیدبک مثبت غالب باشد.

در هر حال ابتدا فرض می‌کنیم مدار در منطقه خطی است.

$$v^+ = v^- \quad \begin{cases} \frac{8 - v^+}{1K} = \frac{v^+ - v_{out}}{0.5K} \Rightarrow 8 + 2v_{out} = 3v^+ \\ \frac{6 - v^+}{1K} = \frac{v^+ - v_{out}}{2K} \Rightarrow 12 + v_{out} = 3v^+ \end{cases}$$

$$\Rightarrow 8 + 2v_{out} = 12 + v_{out} \Rightarrow v_{out} = 4$$

$$v^- = v^+ = \frac{16}{3}$$

ب - اگر 2K بازشود دیگر فیدبک منفی نداریم

حالا حتماً opAmp فیدبک مثبت دارد و خروجی آن یا $+V_{cc} \approx V_{high}$ است و یا $-V_{cc} \approx V_{Low}$

مثلاً اگر $V_{high} = 15$ ، $V_{Low} = -15$ باشد

ابتدا فرض می‌کنیم خروجی در 15+ است

در این وضع

$$\checkmark\ v_{out} = 15 \Leftarrow \begin{cases} v^- = 6V \\ v^+ = \underbrace{\frac{15-8}{1.5K}}_{\text{جریان}}(1K\Omega) + 8^V = \frac{14}{3} + 8V = 12.3\ V \end{cases}$$

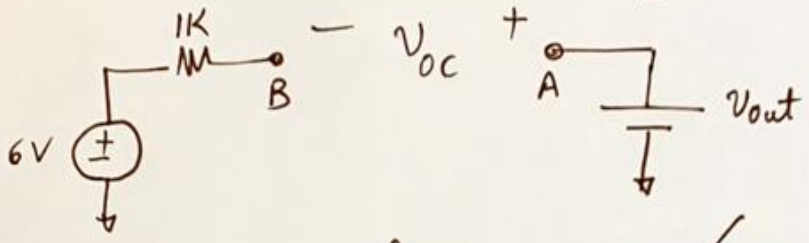
اگر فرض کرده بودیم $v_{out} = -15V$

$$\checkmark\ v_{out} = -15 \begin{cases} v^- = 6V \\ v^+ = -\frac{8+15}{1.5K}\,1K\Omega + 8V = -\frac{23}{1.5} + 8 = -7.33V \end{cases}$$

8/13 در این حالت مدار دارای هیسترزیس است و دو نقطه کاری مجاز دارد.

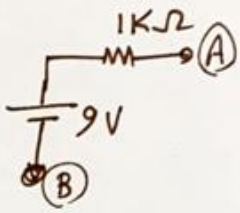
پ - وقتی مقاومت 2KΩ باز است

دو حالت داریم.



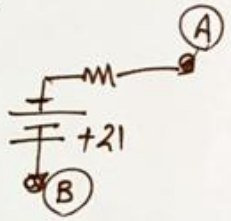
در حالتی که $V_{out} = +15$ باشد:

$$V_{OC} = 15 - 6 = 9V$$
$$I_{SC} = \frac{15-6}{1K} = 9mA$$

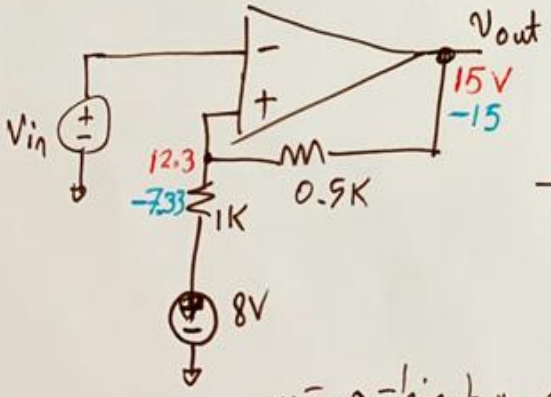


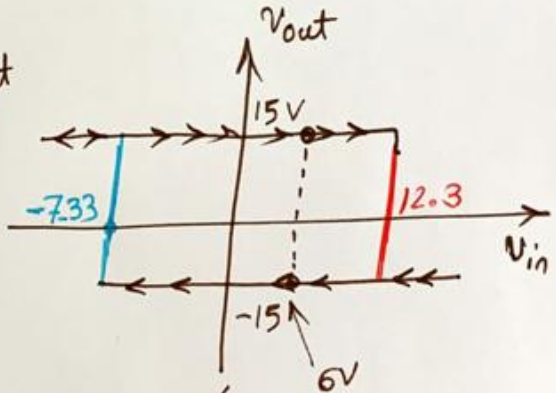
در حالتی که $V_{out} = -15V$ باشد:

$$V_{OC} = -15 - 6 = -21V$$
$$I_{SC} = \frac{-21}{1K\Omega} = 21K\Omega$$



سئوال چرا مدار در حالت 2K باز دارای دو جواب است؟

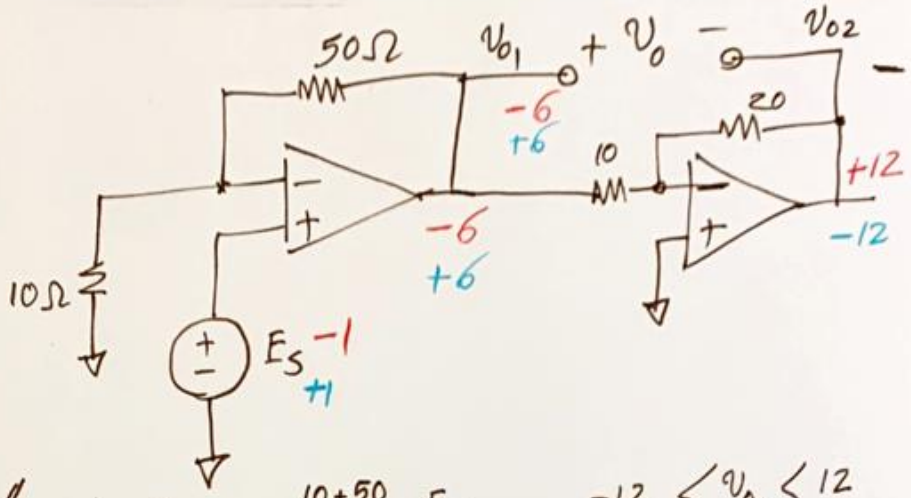




ملاحظه می‌گردد که ورودی 6V وسط منطقه هیسترزیس است و دو جواب +15 و -15 هر دو واقعی هستند.

۳۵ -

9/13



ناوارون‌گر $v_{o1} = \frac{10+50}{10} E_s$ $\quad -12 < v_{o1} < 12$

$\Rightarrow \quad -2 < E_s < +2$

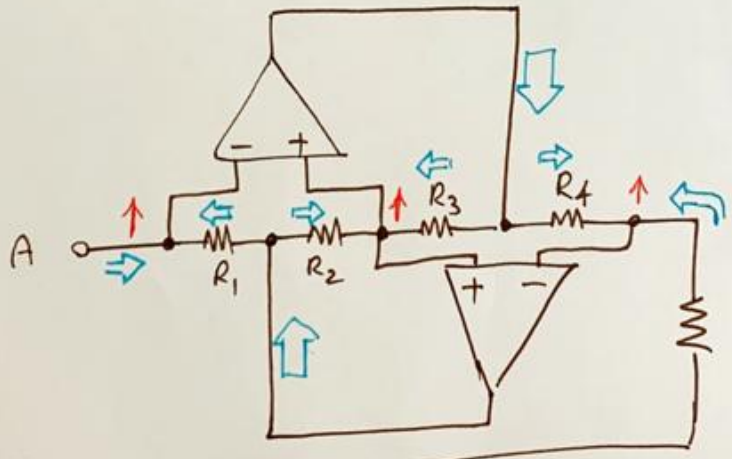
وارونگر $v_{o2} = v_{o1}\left(-\frac{20}{10}\right) = -2v_{o1}$ $\quad -12 < v_{o2} < 12$

$= -12 E_s$

$-1 < E_2 < 1$

$\Rightarrow \quad -18 < v_o < +18$

۳۷ -



قرارشد ولتاژ آپ‌امپ‌ها باهم برابر خلش‌های قرمز ↑ ولتاژند

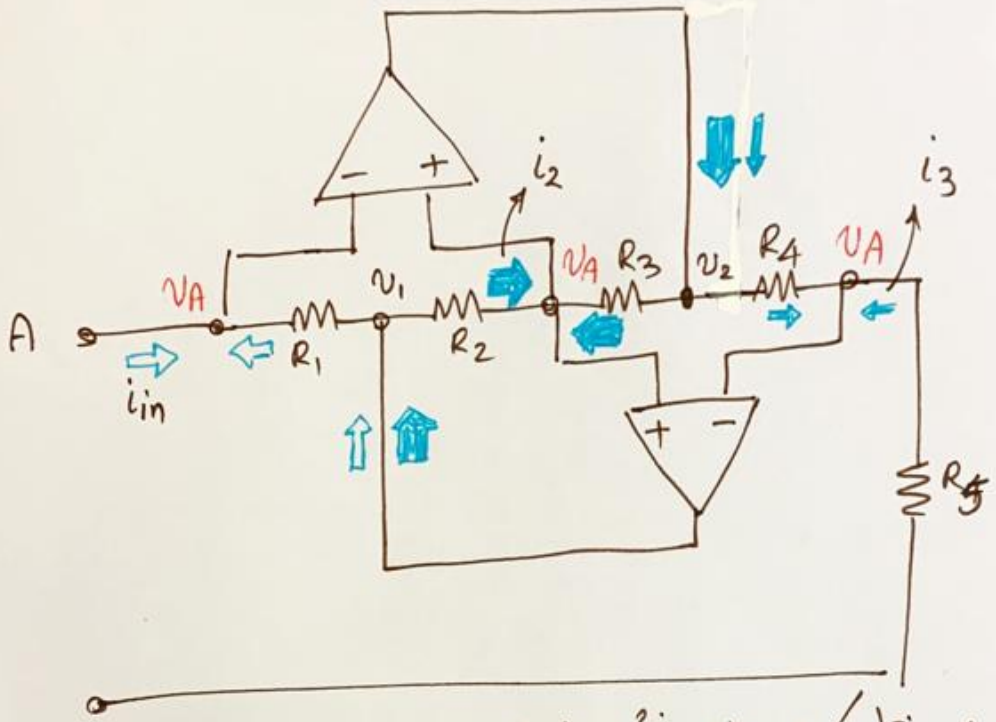
و جریانی‌هم در داخل ورودی های آپ‌امپ نباید خلش‌های آبی ⇒ جریان وجهت جریان

ومیزان آنرا نشان می‌دهند.

10/13 با فرض $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ مطالب صفحه قبل صحیح است.

در حالت کلی مقاومت ها با هم برابر نیستند.

در نتیجه خواهیم داشت



در این نقطه که با v_A نشان داده‌ایم باید جریانی وارد آپ امپ شود

$$\begin{cases} i_{in} = \dfrac{v_A - v_1}{R_1} \\ i_2 = \dfrac{v_A - v_1}{R_2} \end{cases} \Rightarrow i_2 R_2 = i_{in} R_1 \qquad i_2 = \frac{i_{in} R_1}{R_2}$$

$$\begin{cases} i_2 = \dfrac{v_2 - v_A}{R_3} \\ i_3 = \dfrac{v_2 - v_A}{R_4} \end{cases} \Rightarrow i_2 R_3 = i_3 R_4 \qquad i_3 = \frac{R_3}{R_4}\frac{R_1}{R_2} i_{in}$$

$$v_A = -i_3 R_5 = -\frac{R_3 R_1}{R_4 R_2} R_5 i_{in}$$

$$\boxed{\frac{v_A}{i_{in}} = -\frac{R_1 R_3 R_5}{R_2 R_4}}$$

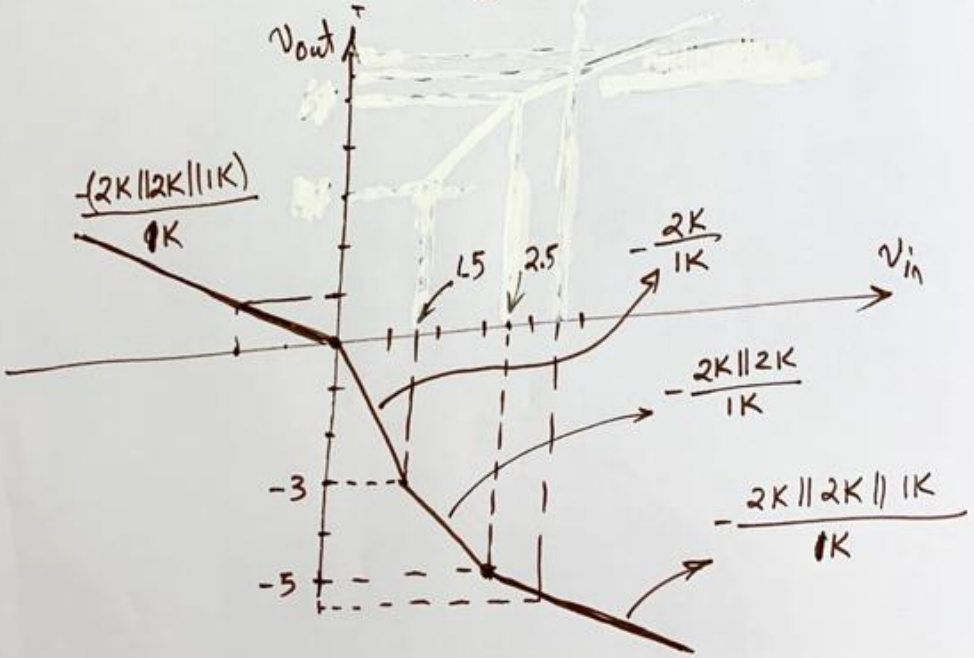
۳۸ - این مدار جالبی است که بهره آن به صورت Piece wise linear تکه تکه خطی عوض می‌شود و می‌تواند سیگنال‌های بزرگ‌تر را به نسبت ضعیف‌تر از سیگنال‌های کوچک تقویت کند

11/13

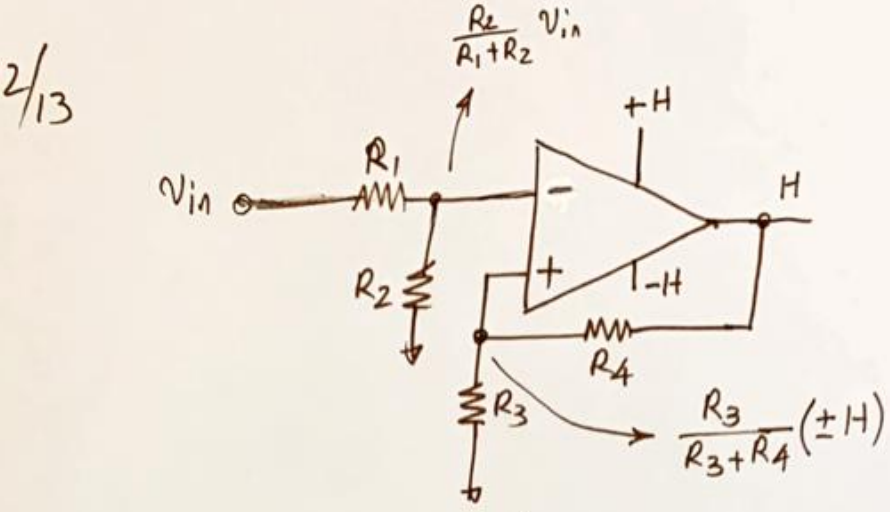
اول مساله را بفهمیم ...

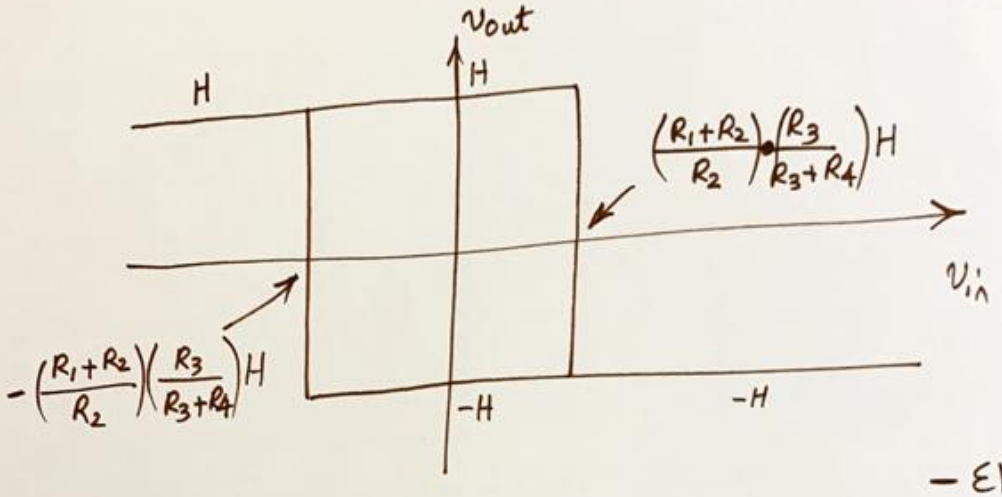
برای ولتاژهای پایین ورودی خروجی (۲-) برابر است خروجی کم کم منفی‌تر می‌شود و زنر D_2 که ولتاژ شکست ۳ ولت دارد روشن می‌شود و با موازی شدن $2K \| 2K$ در مقاومت بهره (۱-) می‌شود ... در ادامه وقتی خروجی به منفی‌تر شود زنر D_1 که ولتاژ شکست ۵ ولت دارد روشن می‌شود و با موازی شدن $(1K \| 2K \| 2K)$ بهره (0.5-) می‌شود

در جهت معکوس $V_{in} < 0$ دو دیود آنا روشن می‌شوند و بهره 0.5- می‌شود.

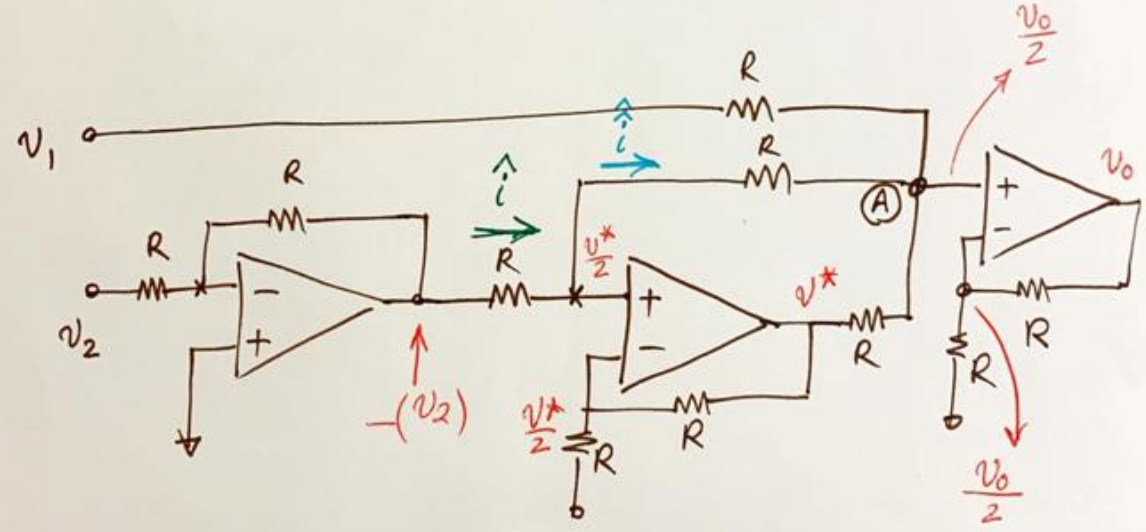


12/13





-۴۲



الان v_1 v_2 مقادیر شناخته شده‌اند. از خروجی v_{out} به عقب آمدم
اگر در گره (A) KCL بنویسیم v^* مشخص می‌شود و مسأله حل است.
یک معادله دیگر هم برای برابری جریان $\hat{i}$ و $\hat{i}$ لازم است.

13/13

$$\begin{cases} \dfrac{v^* - \frac{v_0}{2}}{R} + \dfrac{\frac{v^*}{2} - \frac{v_0}{2}}{R} + \dfrac{v_1 - \frac{v_0}{2}}{R} = 0 \\ \dfrac{-v_2 - \frac{v^*}{2}}{R} = \dfrac{\frac{v^*}{2} - \frac{v_0}{2}}{R} \Rightarrow v^* = \frac{v_0}{2} - v_2 \end{cases}$$

از معادله اول $\quad \frac{3}{2}v^* - \frac{3}{2}v_0 + v_1 = 0$

حذف v^* $\Rightarrow$ $\quad \frac{3}{2}\left(\frac{v_0}{2} - v_2\right) - \frac{3}{2}v_0 + v_1 = 0$

$$\frac{3}{4}v_0 - \frac{3}{2}v_0 - \frac{3}{2}v_2 + v_1 = 0$$

$$-\frac{3}{4}v_0 - \frac{3}{2}v_2 + v_1 = 0$$

$$\frac{3}{4}v_0 = v_1 - \frac{3}{2}v_2$$

$$\boxed{v_0 = \frac{4}{3}v_1 - 2v_2}$$

جواب ربطی به R ندارد