



## Class Exercise 1 - Analog Electronic Circuits

Hagit Perets  
Prof. Mor M. Peretz

The Center for Power Electronics and Mixed-Signal IC  
Department of Electrical and Computer Engineering  
Ben-Gurion University of the Negev, ISRAEL

Emails: [hagitpe@bgu.ac.il](mailto:hagitpe@bgu.ac.il)

Website: <http://www.ee.bgu.ac.il/~analog>



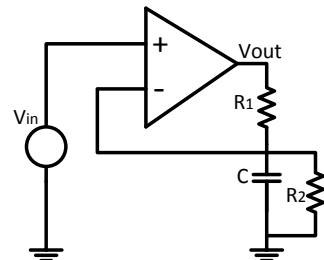
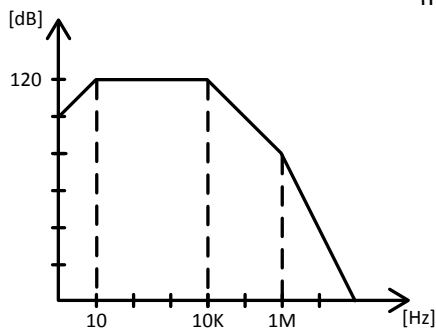
### שאלה 1

נתון המעגל הבא ופונקציית התמסורת  $\frac{V_o}{V_{in}}(f)$  כמשורטט:

א. מצא/י את  $A_{OL}(f)$  ואת ערכי הרכיבים  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $C$  הדרושים לביצוע הניסוי.

ב. כעת נתון  $R_1 = 9K\Omega$ ,  $R_2 = 1K\Omega$ ,  $C = 1.77nF$ . חשבו/י את קבל הקיזוז

$C_x$  הדרוש בכדי להבטיח יציבות עבור  $\beta = 20dB$  מינימלית.





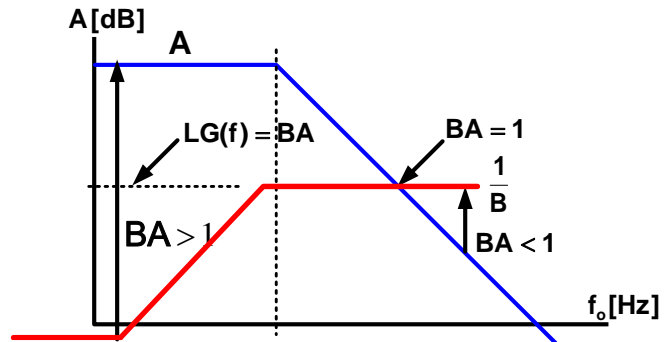
## פיתרון – סעיף א'

תזכורת:

$$A_{CL} = G \frac{A_{OL}}{1 + \beta A_{OL}}$$

$$A_{CL} \Big|_{\beta A_{OL} \gg 1} = \frac{G}{\beta}$$

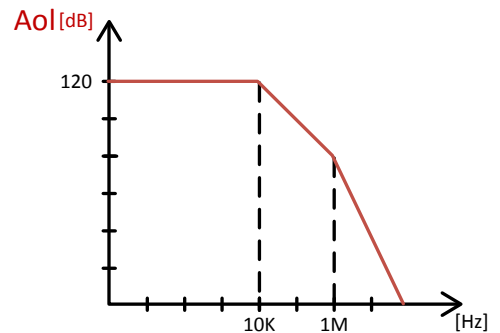
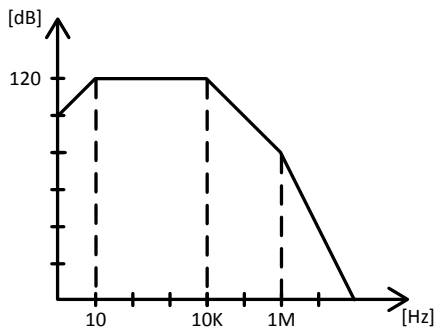
$$A_{CL} \Big|_{\beta A_{OL} \ll 1} = G A_{OL}$$



## פיתרון – סעיף א'

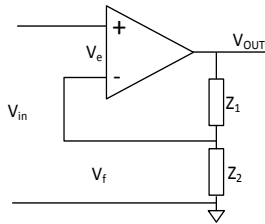
$$A_{OL} = \frac{A}{\left(1 + \frac{f}{f_1}\right) \cdot \left(1 + \frac{f}{f_2}\right) \cdot \dots \cdot \left(1 + \frac{f}{f_n}\right)}$$

$$A_{OL} = \frac{10^6}{\left(1 + \frac{f}{10^4}\right) \cdot \left(1 + \frac{f}{10^6}\right)}$$



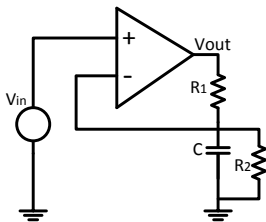


## פיתרון – סעיף א'



$$\beta = -\frac{V_e}{V_{out}} \Big|_{V_{in}=0} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

תזכורת:



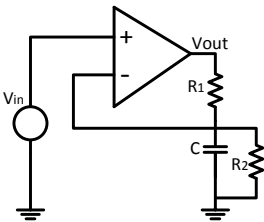
$$\beta = -\frac{V_e}{V_{out}} \Big|_{V_{in}=0} = \frac{R_2}{(R_1 + R_2) \cdot (1 + sCR_1 \parallel R_2)}$$

$$\frac{1}{\beta} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \cdot (1 + sCR_1 \parallel R_2)$$

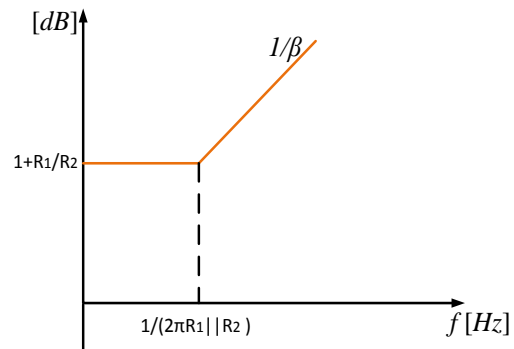
במעגל שלנו:



## פיתרון – סעיף א'

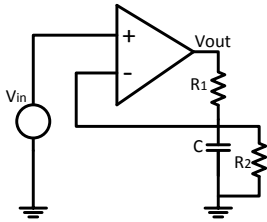


$$\frac{1}{\beta} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \cdot (1 + sCR_1 \parallel R_2)$$





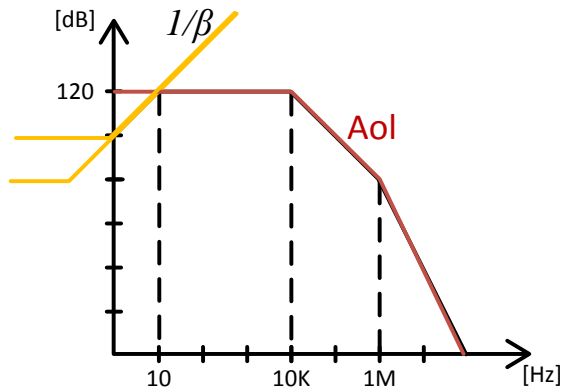
## פיתרון – סעיף א'



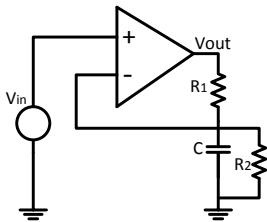
$$10^5 = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \frac{1}{2\pi C R_1 \parallel R_2} = 1 \text{ Hz}$$

$$R_2 = 10[\Omega]$$

$$\Rightarrow R_1 = 1M[\Omega] \quad C = 15.9m[F]$$



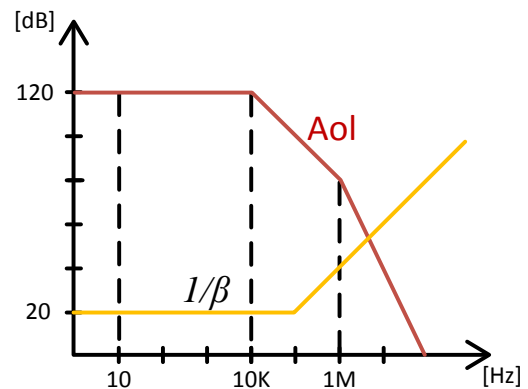
## פיתרון – סעיף ב'



ב. כעת נתון  $R_1 = 9K\Omega$ ,  $R_2 = 1K\Omega$ ,  $C = 1.77nF$ . חשבי את קבל הקיזום  $C_c$  הדרוש בכדי להבטיח יציבות עבור  $\beta = 20dB$  מינימלית.

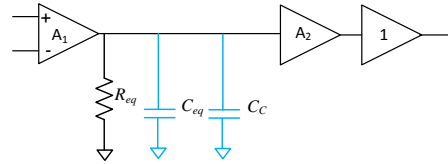
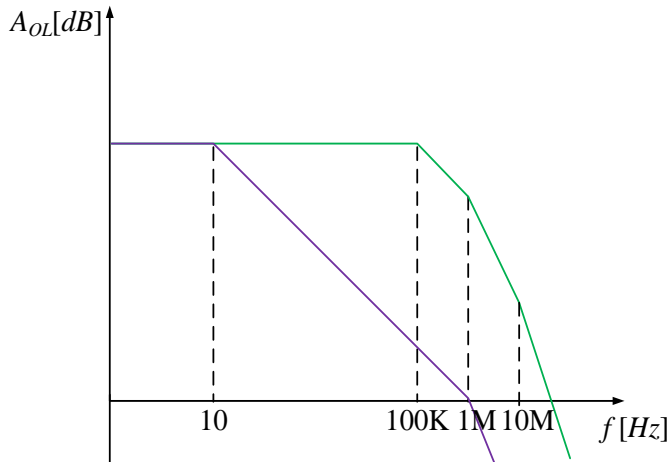
$$\frac{1}{\beta} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \cdot (1 + sCR_1 \parallel R_2)$$

$$\frac{1}{\beta} = 10 \cdot \left(1 + j \frac{f}{100 \cdot 10^3}\right)$$





## תזכורת – קיזוז קוטב דומיננטי



$$C_{eq} = \frac{1}{2\pi R_e \cdot f_{1\text{old}}}$$

$$C_{eq} + C_c = \frac{1}{2\pi R_e \cdot f_{1\text{new}}}$$

$$\frac{C_{eq} + C_c}{C_{eq}} = \frac{f_{1\text{old}}}{f_{1\text{new}}} \Rightarrow C_c = 1000 \cdot C_{eq}$$



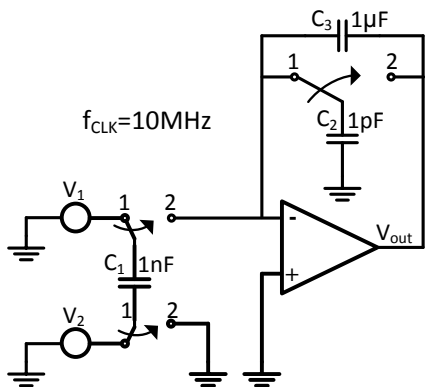
## שאלה 2

נתון ממיר קבליים מתמתגים הבא:

א. בהנחת מגבר אידיאלי שרטט מעגל שקול, וחשב את התמסורת  $\frac{V_o}{V_1 - V_2}(f)$  כולל ערכים.

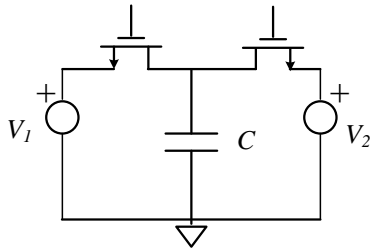
ב. בהנחת הגבר  $A_{OL} = \frac{10^5}{\left(1 + j\frac{f}{10}\right)\left(1 + j\frac{f}{1M}\right)}$  בחן את יציבות המעגל כולל

שרטוט וחשב  $\phi_m$ .





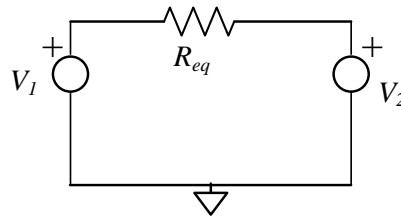
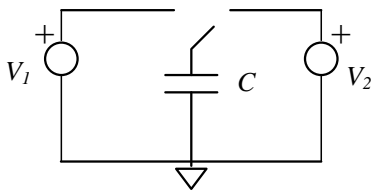
## תזכורת – קבלים מתמתגים



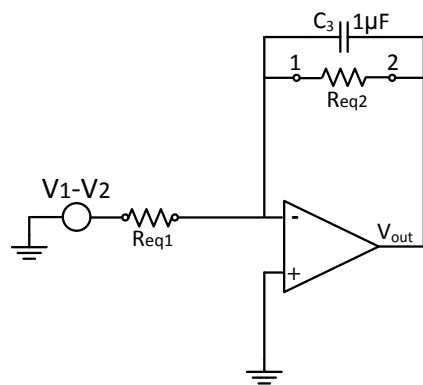
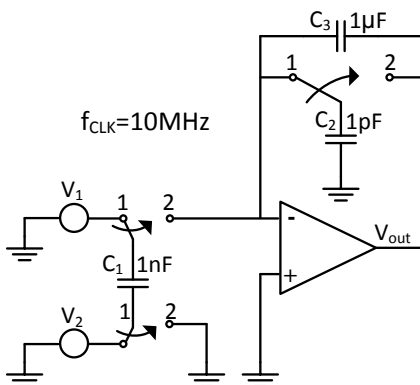
$$I_{avg} = f_{clk} \Delta Q$$

$$I_{avg} = C f_{clk} (V_1 - V_2)$$

$$R_{eq} = \frac{V_1 - V_2}{I_{avg}} = \frac{1}{C f_{clk}}$$



## פיתרון – סעיף א'



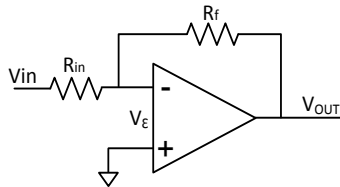
$$R_{eq1} = \frac{1}{1n \cdot 10M} = 100[\Omega]$$

$$R_{eq2} = \frac{1}{1p \cdot 10M} = 100K[\Omega]$$



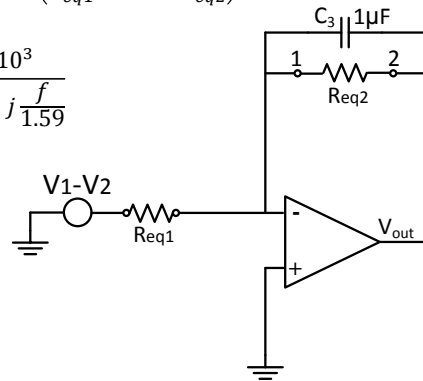
## פיתרון – סעיף א'

$$V_{out} = -V_{in} \left( \frac{R_f}{R_{in}} \right)$$



$$V_{out} = -(V_1 - V_2) \cdot \left( \frac{R_{eq2}}{R_{eq1}} \cdot \frac{1}{1 + sCR_{eq2}} \right)$$

$$\frac{V_{out}}{(V_1 - V_2)} = - \frac{10^3}{1 + j \frac{f}{1.59}}$$



## פיתרון – סעיף ב'

ב. בהנחת הגבר  $A_{OL} = \frac{10^5}{\left(1 + j \frac{f}{10}\right) \left(1 + j \frac{f}{1M}\right)}$  בחן את יציבות המעגל כולל שרטוט וחשב  $\phi_m$ .

$$\beta = - \frac{V_e}{V_{out}} \Big|_{V_{in}=0} = \frac{R_{eq1}(1 + sCR_{eq2})}{(R_{eq1} + R_{eq2}) \cdot (1 + sCR_{eq1} \parallel R_{eq2})}$$

$$\frac{1}{\beta} = \left(1 + \frac{R_{eq2}}{R_{eq1}}\right) \cdot \frac{(1 + sCR_{eq1} \parallel R_{eq2})}{(1 + sCR_{eq2})}$$

$$\frac{1}{\beta} \Big|_{f \rightarrow 0} = 1 + \frac{R_{eq2}}{R_{eq1}} = 10^3 \quad (60dB)$$

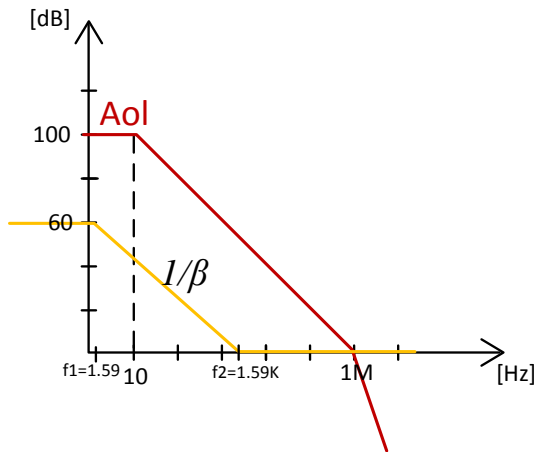
$$f_{pole} = \frac{1}{2\pi CR_{eq2}} = 1.59Hz$$

$$\frac{1}{\beta} \Big|_{f \rightarrow \infty} = \left(1 + \frac{R_{eq2}}{R_{eq1}}\right) \cdot \frac{R_{eq1}}{R_{eq2}} = 1 \quad (0dB)$$

$$f_{zero} = \frac{1}{2\pi CR_{eq1} \parallel R_{eq2}} = 1.59KHz$$



## פיתרון – סעיף ב'



$$\varphi_m = 45^\circ$$

$$\left. \frac{1}{\beta} \right|_{f \rightarrow 0} = 1 + \frac{R_{eq2}}{R_{eq1}} = 10^3 \quad (60dB)$$

$$\left. \frac{1}{\beta} \right|_{f \rightarrow \infty} = \left(1 + \frac{R_{eq2}}{R_{eq1}}\right) \cdot \frac{R_{eq1}}{R_{eq2}} = 1 \quad (0dB)$$

$$f_{pole} = \frac{1}{2\pi C R_{eq2}} = 1.59Hz$$

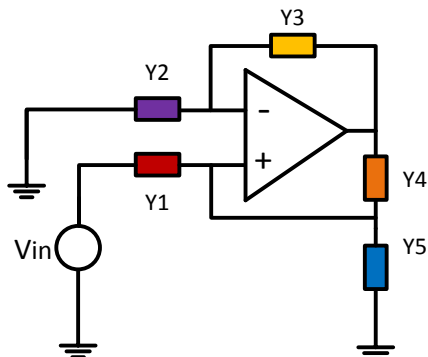
$$f_{zero} = \frac{1}{2\pi C R_{eq1} \parallel R_{eq2}} = 1.59KHz$$

$$A_{OL} = \frac{10^5}{\left(1 + j \frac{f}{10}\right) \left(1 + j \frac{f}{1M}\right)}$$



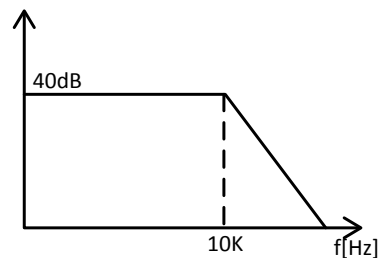
## שאלה 3

נתון המעגל המסונן הבא:



א. בטא/י את התמסורת  $\frac{V_o}{V_{in}}(f)$  כפונקציה של  $Y_1 - Y_5$

ב. מצא/י את אופי וערכי הרכיבים לקבלת המסנן הבא:

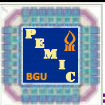
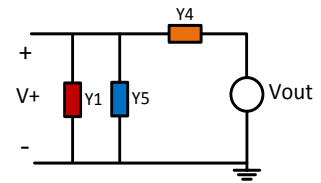
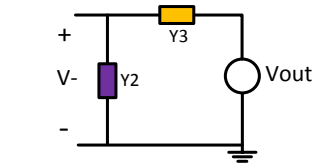
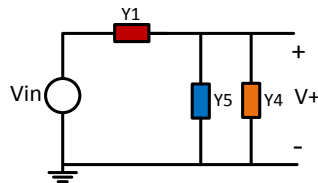
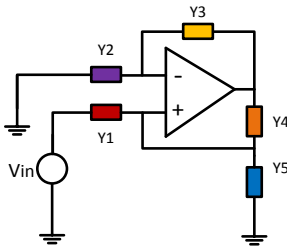




## פתרון – סעיף א'

$$(1) V_- = V_o \cdot \frac{Z_2}{Z_3 + Z_2} = V_o \cdot \frac{Y_3}{Y_3 + Y_2}$$

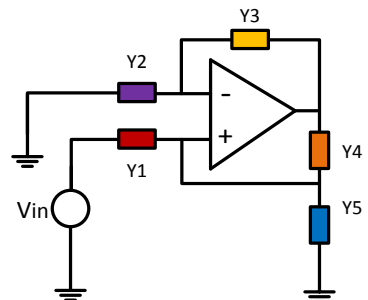
$$(2) V_+ = V_o \cdot \frac{Y_4}{Y_1 + Y_4 + Y_5} + V_{in} \cdot \frac{Y_1}{Y_1 + Y_4 + Y_5}$$



## פתרון – סעיף א'

$$V_- = V_+ \Rightarrow$$

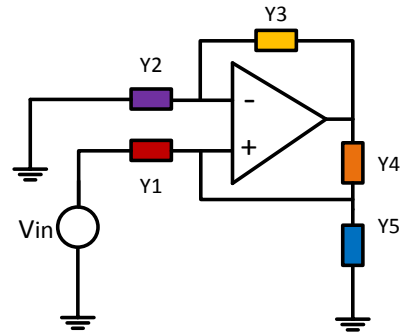
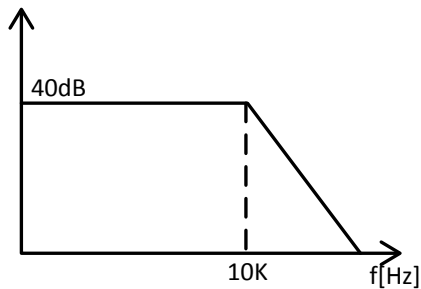
$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{Y_1 \cdot (Y_2 + Y_3)}{Y_3 \cdot Y_1 + Y_3 \cdot Y_5 - Y_2 \cdot Y_4}$$





## פתרון – סעיף ב'

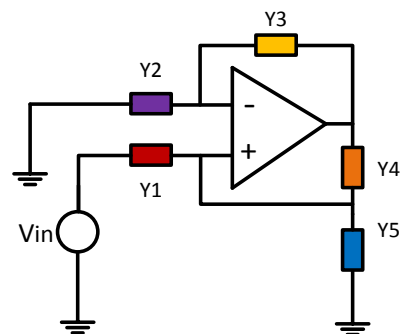
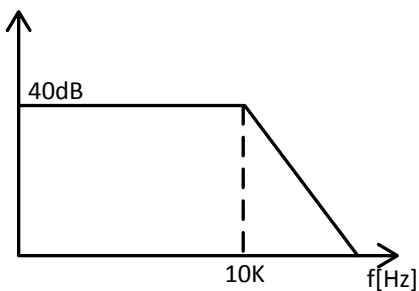
ב. מצא/י את אופי וערכי הרכיבים לקבלת המסנן הבא:



## פתרון – סעיף ב'

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{10^2}{1 + j \frac{f}{10^4}}$$

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{Y_1 \cdot (Y_2 + Y_3)}{Y_3 \cdot Y_1 + Y_3 \cdot Y_5 - Y_2 \cdot Y_4}$$





## פתרון – סעיף ב'

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{Y_1 \cdot (Y_2 + Y_3)}{Y_3 \cdot Y_1 + Y_3 \cdot Y_5 - Y_2 \cdot Y_4}$$

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{10^2}{1 + j \frac{f}{10^4}}$$

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{Y_1 \cdot (Y_2 + Y_3)}{Y_3 \cdot Y_1 - Y_2 \cdot Y_4} \cdot \frac{1}{1 + j \frac{2\pi f C_5 Y_3}{Y_3 \cdot Y_1 - Y_2 \cdot Y_4}}$$

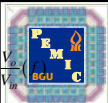
$$Y_1 = Y_2 = Y_4 = Y, \quad R = 100[\Omega]$$

$$R_3 = 0.98 \cdot R = 98[\Omega]$$

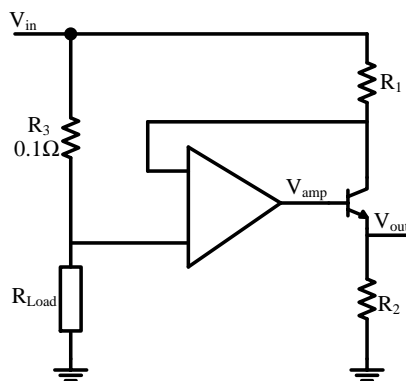
$$C_5 = 3.18n[F]$$

$$(1) \quad \frac{Y_1 \cdot (Y_2 + Y_3)}{Y_3 \cdot Y_1 - Y_2 \cdot Y_4} = 100$$

$$(2) \quad \frac{2\pi f C_5 Y_3}{Y_3 \cdot Y_1 - Y_2 \cdot Y_4} = \frac{1}{10^4}$$



## שאלה 4



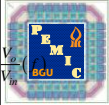
נתון מעגל חיישן זרם הבא:

א. סמן את קוטביות המגבר.

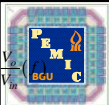
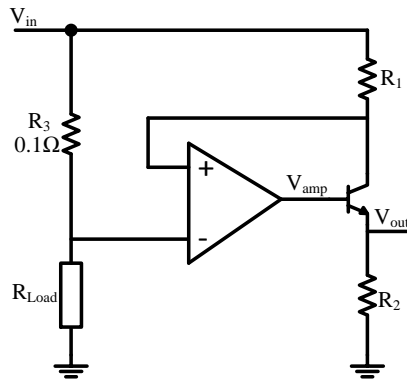
ב. חשב  $\frac{V_o}{V_{in}}(f)$  ובחן את יציבות המעגל

ג. הצע אפשרות ליצוב המערכת

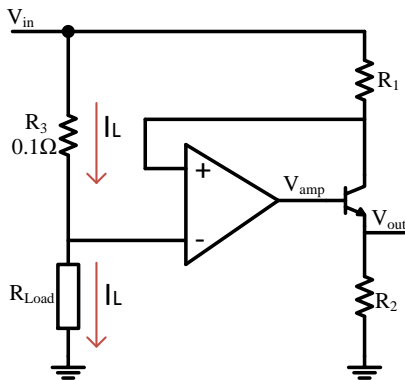
$$A_{OL} = \frac{10^5}{\left(1 + j \frac{f}{10}\right) \left(1 + j \frac{f}{100}\right)}$$



## פיתרון – סעיף א'



## פיתרון – סעיף ב'



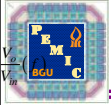
$$(1) V_+ = V_- \Rightarrow I_{R_1} \cdot R_1 = I_L \cdot R_3$$

$$(2) I_L \cdot (R_3 + R_L) = V_{in}$$

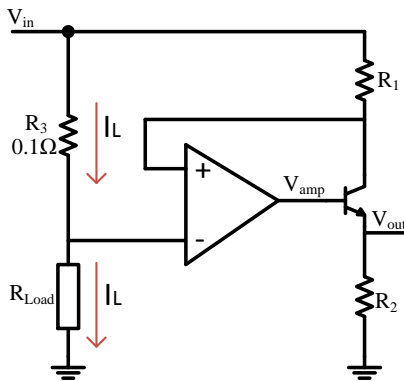
$$(3) I_{R_1} \approx I_{R_2} \quad (I_c \approx I_e)$$

$$(4) V_o = I_{R_2} \cdot R_2$$

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1 \cdot (R_3 + R_L)}$$



## פיתרון – סעיף ב'



- (1)  $V_+ = V_- \Rightarrow I_{R_1} \cdot R_1 = I_L \cdot R_3$
- (2)  $I_L \cdot (R_3 + R_L) = V_{in}$
- (3)  $I_{R_1} \approx I_{R_2}$  ( $I_c \approx I_e$ )
- (4)  $V_o = I_{R_2} \cdot R_2$

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1 \cdot (R_3 + R_L)}$$