



## Class Exercise 2 - Analog Electronic Circuits

Hagit Perets Habany  
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)

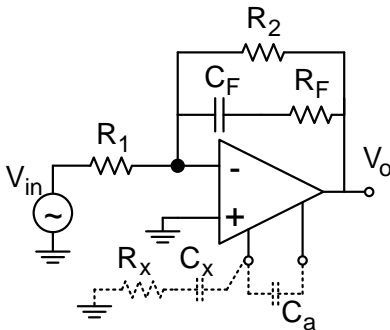
Website: <http://www.ee.bgu.ac.il/~analog>



## שאלה 1

נתונים המעגל הבא, ופונקציית תמסורת בחוג פתוח  $A_{OL}(f)$  של מגבר שרת, וכן נתונים:  
 $R_1 = 1k\Omega$ ,  $R_2 = 1M\Omega$ ,  $R_F = 2k\Omega$ ,  $C_F = 100nF$ ,  $R_{eq} = 2M\Omega$

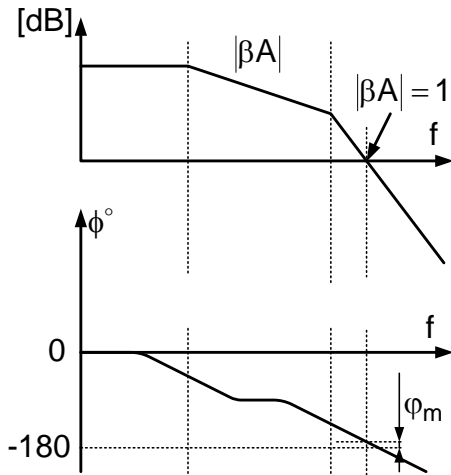
- א. חשבי את  $\varphi_m$  של המעגל, ללא קיזוז.  
ב. חשבי את ערך קבל הקיזוז  $C_a$ , לקבלת קיזוז אופטימלי ( $\varphi_m = 45^\circ$ ), אם ידוע כי הגבר הדרגה השנייה של המגבר הינו  $10^3$ .  
ג. חזורי על סעיף ב' עבור רשת קיזוז של  $C_x, R_x$ .



$$A_{OL}(f) = \frac{10^3 \cdot 10^3 \cdot 10^0}{\left(1 + j \frac{f}{10^2}\right) \left(1 + j \frac{f}{10^4}\right) \left(1 + j \frac{f}{10^5}\right)}$$



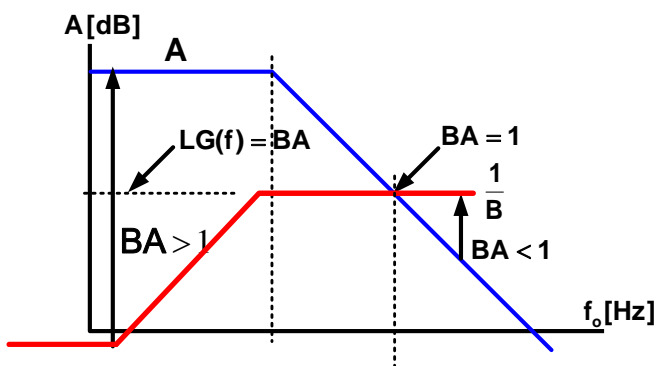
## תזכורת 1



$$\varphi_m = \varphi_{|\beta A|=1} - (-180^\circ) = \varphi_{|\beta A|=1} + 180^\circ$$



## תזכורת 2



$$20\log A - 20\log \frac{1}{B} = 20\log(BA)$$

$$20\log A = 20\log \frac{1}{B} \Rightarrow B \cdot A = 1$$



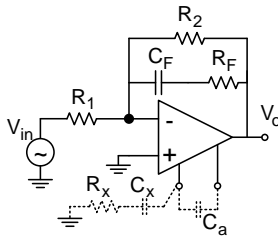
## פיתרון – סעיף א'

שלב 1: לחשב את  $\frac{1}{\beta}$ 

$$\beta = \frac{V_e}{V_{out}} \Big|_{V_{in}=0}$$

$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + Z_f}$$

$$Z_f = R_2 \parallel \left( \frac{1}{sC_F} + R_F \right)$$

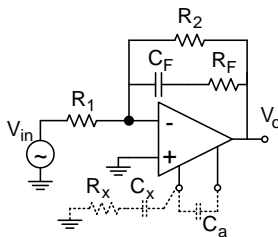


## פיתרון – סעיף א'

שלב 1: לחשב את  $\frac{1}{\beta}$ 

$$Z_f = R_2 \parallel \left( \frac{1}{sC_F} + R_F \right) = \frac{R_2 \cdot \left( \frac{1}{sC_F} + R_F \right)}{R_2 + \frac{1}{sC_F} + R_F} = \frac{R_2 + R_2 \cdot R_F \cdot sC_F}{1 + sC_F \cdot (R_2 + R_F)}$$

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{R_1}{R_1 + Z_f} = \frac{R_1}{R_1 + \frac{R_2 + R_2 \cdot R_F \cdot sC_F}{1 + sC_F \cdot (R_2 + R_F)}} = \frac{R_1}{\frac{R_1 + sC_F R_1 \cdot (R_2 + R_F) + R_2 + R_2 \cdot R_F \cdot sC_F}{1 + sC_F \cdot (R_2 + R_F)}} = \\ &= \frac{R_1 + R_1 \cdot sC_F \cdot (R_2 + R_F)}{R_1 + sC_F R_1 \cdot (R_2 + R_F) + R_2 + R_2 \cdot R_F \cdot sC_F} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot \frac{1 + sC_F \cdot (R_2 + R_F)}{1 + sC_F \cdot (R_1 \parallel R_2 + R_F)} \end{aligned}$$





## פיתרון – סעיף א'

$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot \frac{1 + sC_F \cdot (R_2 + R_F)}{1 + sC_F \cdot (R_1 \parallel R_2 + R_F)} \Big|_{R_2 \gg R_1, R_F} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot \frac{1 + sC_F R_2}{1 + sC_F \cdot (R_1 + R_F)}$$

$$f_{pole} = \frac{1}{2\pi C_F R_2} = 1.59\text{Hz}$$

$$\left. \frac{1}{\beta} \right|_{f \rightarrow 0} = \frac{R_2}{R_1} = 10^3 \quad (60\text{dB})$$

$$f_{zero} = \frac{1}{2\pi C_F \cdot (R_1 + R_F)} = 530\text{Hz}$$

$$\left. \frac{1}{\beta} \right|_{f \rightarrow \infty} = 1 + \frac{R_F}{R_1} = 3 \quad (10\text{dB})$$



## פיתרון – סעיף א'

$$f_{pole} = 1.59\text{Hz}$$

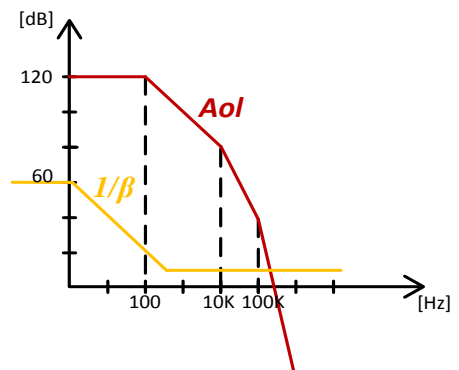
$$f_{zero} = 530\text{Hz}$$

שלב 2: לצייר את  $\frac{1}{\beta}$  ואת  $A_{ol}$

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

$$\left. \frac{1}{\beta} \right|_{f \rightarrow \infty} = 3 \quad (10\text{dB})$$

$$A_{OL}(f) = \frac{10^3 \cdot 10^3 \cdot 10^0}{\left(1 + j \frac{f}{10^2}\right) \left(1 + j \frac{f}{10^4}\right) \left(1 + j \frac{f}{10^5}\right)}$$



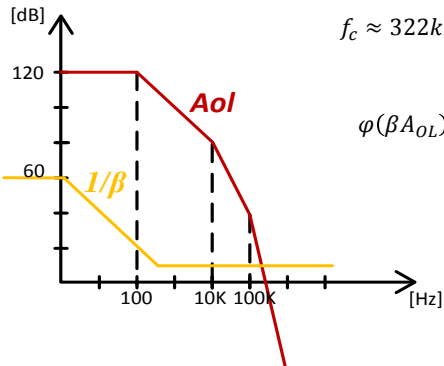


## פיתרון – סעיף א'

$$\frac{A_1}{A_2} = \left( \frac{f_1(\text{Hz})}{f_2(\text{Hz})} \right)^{\frac{\text{slope}[dB/dec]}{20[dB]}} \rightarrow \left[ \frac{40[dB]}{10[dB]} \right] = \frac{100}{3} = \left( \frac{10^5(\text{Hz})}{f_c(\text{Hz})} \right)^{\frac{-60[dB/dec]}{20[dB]}}$$

שלב 3: חישוב  $\varphi_m$  של המעגל

- חישוב תדר החיתוך של המעגל:



$$\varphi(\beta A_{OL})_{f_c} = -\varphi(A_{OL})_{f_1, f_2} - \varphi(A_{OL})_{f_c} - \varphi\left(\frac{1}{\beta}\right)_{f_c} = -180^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{f_c}{f_{3(AOL)}}\right) - 0$$

$$= -180^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{322k}{100k}\right) \approx -253^\circ$$

$$\varphi_m = 180^\circ + \varphi(\beta A_{OL})_{f_c} = -73^\circ$$

לא יציב!

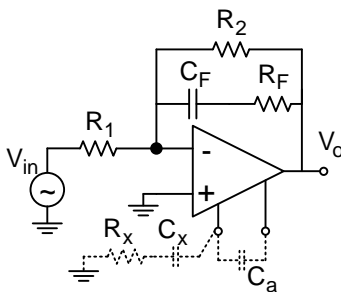


## פיתרון – סעיף ב'

חשבו/ את ערך קבל הקיזוז  $C_a$ , לקבלת קיזוז אופטימלי ( $\varphi_m = 45^\circ$ ), אם ידוע כי הגבר הדרגה השנייה של המגבר הינו  $10^3$ .

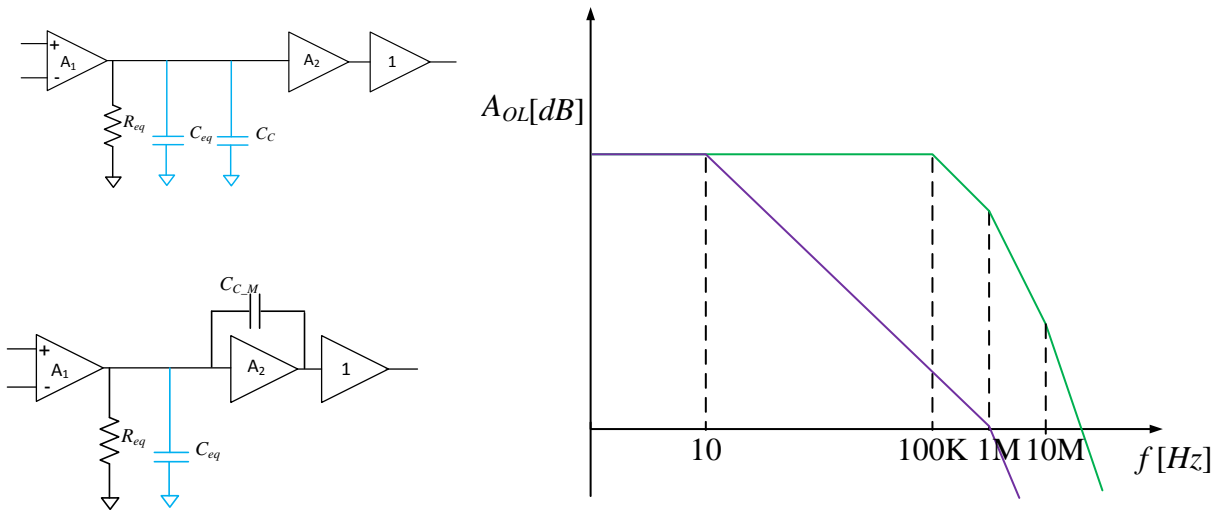
חשוב לשים לב:

- זיהוי סוג הקיזוז הנדרש: קיזוז פנימי - קוטב דומיננטי
- התבקשנו לחשב קבל שלא מיוחס לאדמה, אלא שני הדקוי מתחברים לתוך המגבר
- קיבלנו נתון לגבי הגבר הדרגה השנייה של המגבר

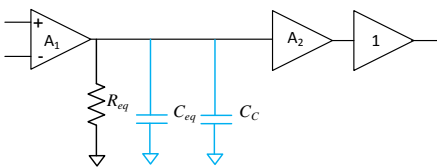




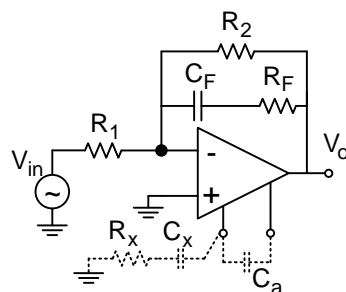
## תזכורת – קוטב דומיננטי



## פיתרון – סעיף ב'



$$C_{eq} = \frac{1}{2\pi f_{1,old} R_{eq}} \approx 800 \text{ pF}$$

חישוב  $C_{eq}$  ע"פ  $R_{eq}$ :

$$\left[ \frac{120 \text{ [dB]}}{10 \text{ [dB]}} \right] = \frac{10^6}{3} = \left( \frac{f_{1,new} \text{ (Hz)}}{10^4 \text{ (Hz)}} \right)^{\frac{-20 \text{ [dB/dec]}}{20 \text{ [dB]}}}$$

חישוב התדר החדש:

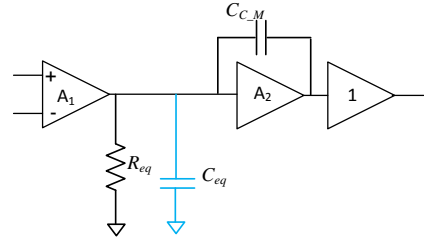
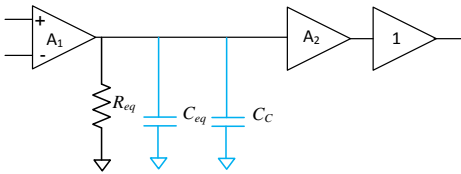
$$f_{1,new} = 0.03 \text{ Hz}$$

$$\frac{C_{eq} + C_c}{C_{eq}} = \frac{f_{1,old}}{f_{1,new}}$$

$$C_c = 800 \text{ pF} \cdot \frac{100}{0.03} = 2.67 \mu\text{F}$$



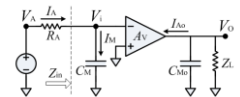
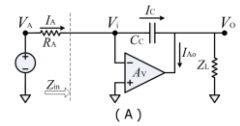
פיתרון – סעיף ב'



חישוב הקבל הנדרש בשאלה:

$$C_c = 2.67 \mu F$$

$$C_a = \frac{C_c}{A+1} = \frac{2.67 \mu F}{1001} = 2.66 nF$$



$$C_M = C_c \cdot (A + 1)$$

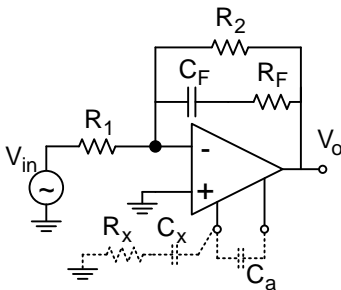


פיתרון – סעיף ג'

חשבו/ את ערך קבל הקיזוז  $C_x, R_x$ , לקבלת קיזוז אופטימלי ( $\varphi_m = 45^\circ$ ), אם ידוע כי הגבר הדרגה השנייה של המגבר הינו  $10^3$ .

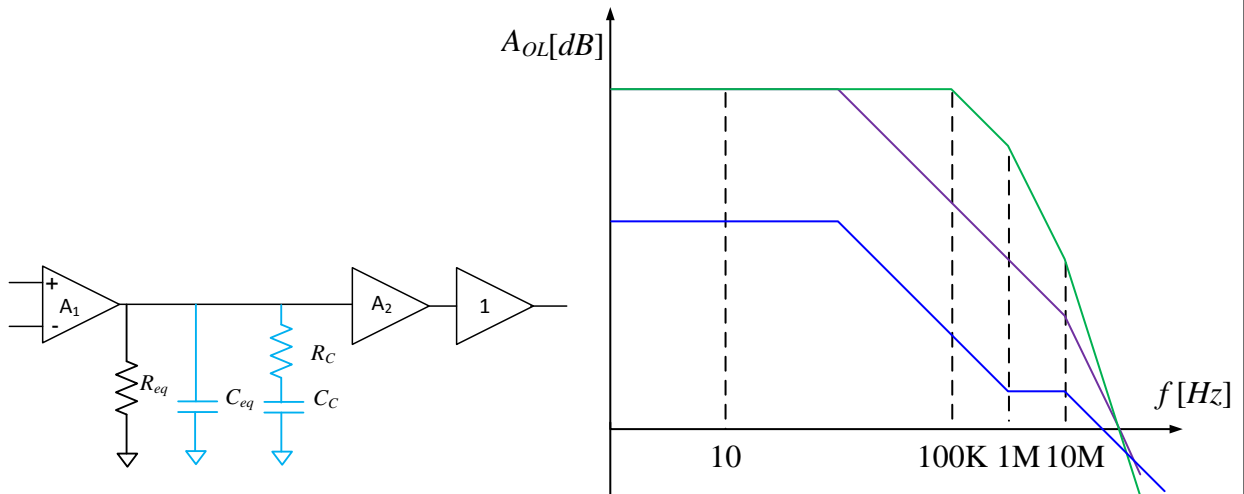
שלבי פעולה:

1. מציאת הקוטב החדש, בהנחה שהחיתוך מתרחש בקוטב השלישי
2. מציאת קבל הקיזוז  $C_x$  ע"פ הקוטב
3. מציאת  $R_x$  ע"פ  $C_x$  והקוטב השני (אותו נרצה לקזז)
4. חישוב הקבל הפרזיטי





## תזכורת – ביטול קוטב ע"י אפס



## פיתרון – סעיף ג'

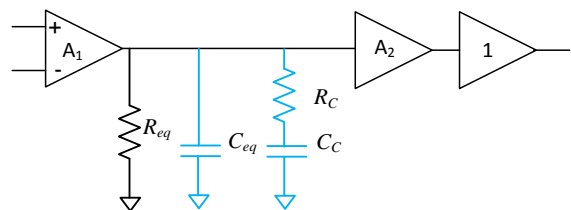
$$\left[ \frac{120[dB]}{10[dB]} \right] = \frac{10^6}{3} = \left( \frac{f_{1\text{ new}}(Hz)}{10^5(Hz)} \right)^{\frac{-20[dB/dec]}{20[dB]}} \longrightarrow f_{1\text{ new}} = 0.3Hz$$

$$R_x \gg R_{eq}; C_x \gg C_{eq}$$

$$C_x = 800pF \cdot \frac{100}{0.3} = 267nF$$

$$R_x = \frac{1}{2\pi f_2 C_x} \approx 60\Omega$$

$$f_3 = \frac{1}{2\pi R_x C_{eq}} \approx 3.3MHz$$

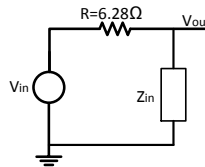




## שאלה 2

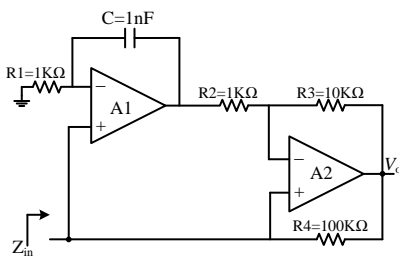
נתון המעגל הבא:

א. מצא את הביטוי ל- $Z_{in}$ .  
 ב. מחברים את  $Z_{in}$  באופן הבא:

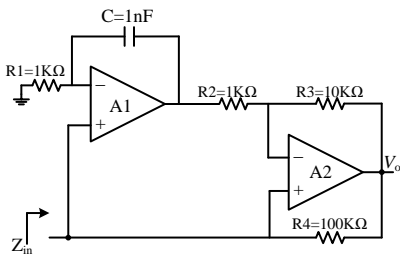


חשב ושרטט את התמסורת  $\frac{V_o}{V_{in}}(f)$

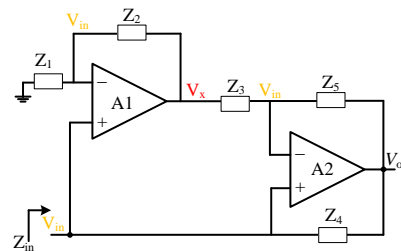
חשב ושרטט את מתח המוצא כפונקציה של הזמן בעבור אות כניסה סינוסי בעל אמפליטודה של 5V ותדר 10kHz.



## פיתרון - סעיף א'



$$\begin{aligned} Z_1 &= R_1 \\ Z_2 &= \frac{1}{sC} \\ Z_3 &= R_2 \\ Z_4 &= R_4 \\ Z_5 &= R_3 \end{aligned}$$



$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}}$$

$$I_{in} = \frac{V_o - V_{in}}{Z_4}$$



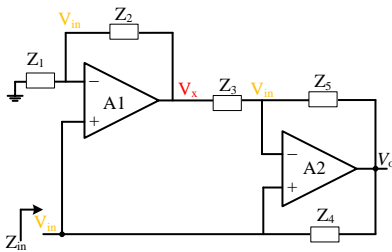
## פיתרון - סעיף א'

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}}$$

$$V_x = V_{in} \cdot \left(1 + \frac{Z_2}{Z_1}\right)$$

$$I_{in} = \frac{V_o - V_{in}}{Z_4}$$

$$\frac{V_o - V_{in}}{Z_5} + \frac{V_{in} - V_x}{Z_3} = 0$$



$$V_o = V_{in} \cdot \left(1 - \frac{Z_5}{Z_3}\right) + V_x \cdot \frac{Z_5}{Z_3} = V_{in} \cdot \frac{Z_3 Z_1 + Z_2 Z_5}{Z_1 Z_3}$$

$$I_{in} = \frac{V_{in} \cdot \frac{Z_3 Z_1 + Z_2 Z_5}{Z_1 Z_3} - V_{in}}{Z_4} = V_{in} \cdot \frac{Z_2 Z_5}{Z_1 Z_3 Z_4}$$

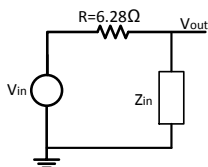
$$Z_{in} = \frac{Z_1 Z_3 Z_4}{Z_2 Z_5} = \frac{R_1 R_2 R_4 s C}{R_3}$$



## פיתרון - סעיף ב'

$$Z_{in} = \frac{R_1 R_2 R_4 s C}{R_3}$$

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{Z_{in}}{Z_{in} + R} = \frac{\frac{R_1 R_2 R_4 s C}{R_3}}{\frac{R_1 R_2 R_4 s C}{R_3} + R} = \frac{R_1 R_2 R_4 s C}{R R_3 + R_1 R_2 R_4 s C} = \frac{\frac{R_1 R_2 R_4}{R R_3} s C}{1 + \frac{R_1 R_2 R_4}{R R_3} s C} = \frac{s R_{eq} C}{1 + s R_{eq} C} = \frac{j \frac{f}{f_0}}{1 + j \frac{f}{f_0}}$$



$$R_{eq} = \frac{R_1 R_2 R_4}{R R_3} = 1.6 \text{ M}\Omega$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi R_{eq} C} = 100 \text{ Hz}$$



## פיתרון - סעיף ב'

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{j \frac{f}{f_0}}{1 + j \frac{f}{f_0}} \quad f_0 = 100\text{Hz}$$

