

**פתרון מוצע לבחינת מה"ט באלקטרוניקה תקבילית - קיץ 2018 (מועד א')**  
**מחבר: מר פופקו צבי, מכללת אורט סינגאלובסקי**

**שאלה 1:**

א.

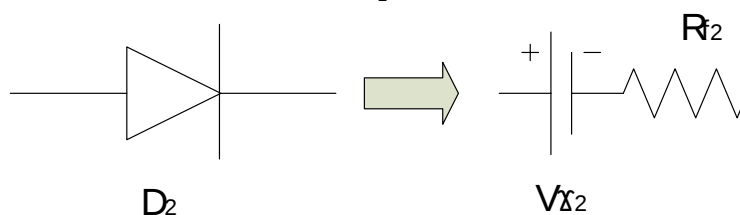
$$E=5V$$

בוצעה הנחה כי הדיודה D1 חסומה והדיודה D2 מוליכה:

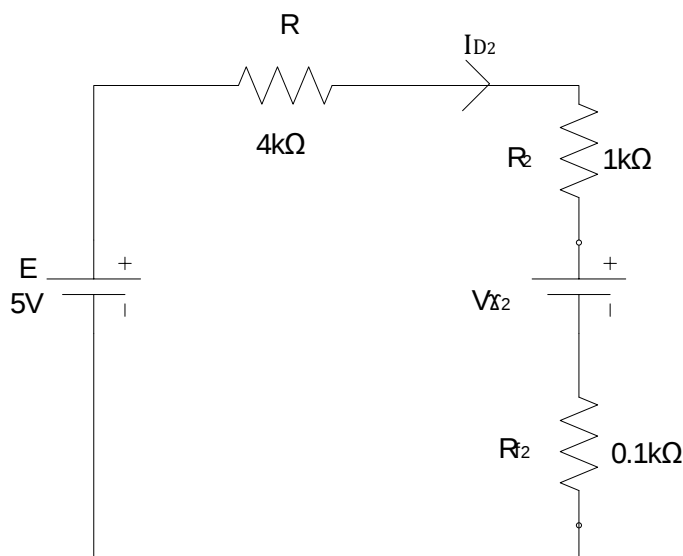
$$D_2 - ON, D_1 - OFF$$

נמצא את מאפייני D2 מתוך הגרף הנתון:

$$V_{\gamma_2} = 0.5V, R_{f_2} = \frac{\Delta V_{D_2}}{I_{D_2}} = \frac{1 - 0.5}{5 - 0} = 0.1k\Omega$$



תרשים תמורה של המעגל:



$$I_{D_2} = \frac{E - V_{\gamma_2}}{R + R_2 + R_{f_2}} = \frac{5 - 0.5}{4 + 1 + 0.1} = 0.88mA$$

$$V_{D_2} = V_{\gamma_2} + I_{D_2} \cdot R_{f_2} = 0.5 + 0.88 \cdot 0.1 = 0.588V$$

נקודת עבודה של D2: (0.588V, 0.88mA)

$$V_{D_1} = -(E - I_{D_2} \cdot R) = -(5 - 0.88 \cdot 4) = -1.48V$$

נקודת עבודה של D1: (-1.48V, 0)

הערה: הדיודה D1 אכן חסומה מכיוון שהמתח על פניה נמוך מ-3V.

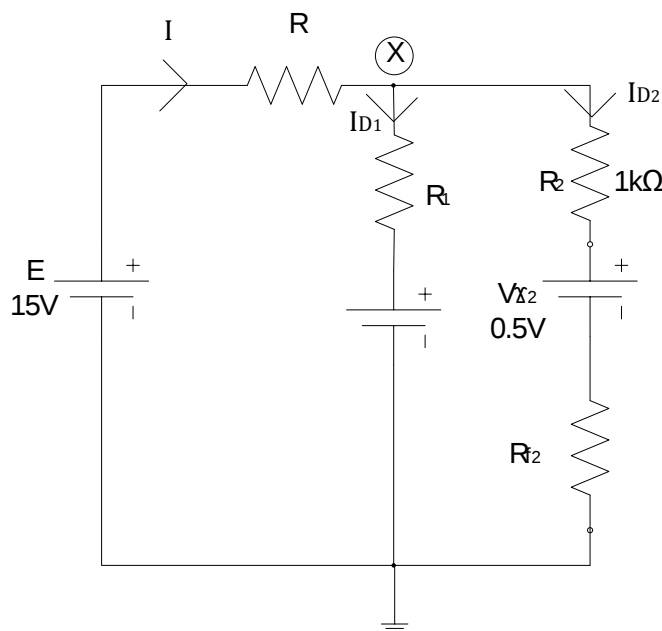
ב.

$$E=15V$$

בוצעה הנחה כי 2 הדיודה מוליכות:

$$D_1 - \text{פריצת זנר}, D_2 - \text{ON}$$

תרשים תמורה של המעגל:



KCL בצומת X:

$$I = I_{D1} + I_{D2}$$

$$\frac{15 - V_X}{R} = \frac{V_X - 3}{R_1} + \frac{V_X - 0.5}{R_2 + R_{f2}}$$

$$\frac{15 - V_X}{4} = \frac{V_X - 3}{2} + \frac{V_X - 0.5}{1.1}$$

פתרון המשוואה נותן:  $V_X = 3.43V$

$$I_{D1} = \frac{V_X - 3}{R_1} = 0.215mA$$

$$I_{D2} = \frac{V_X - 0.5}{R_2 + R_{f2}} = 2.66mA$$

$$V_{D2} = V_{r2} + I_{D2} \cdot R_{f2} = 0.5 + 2.66 \cdot 0.1 = 0.766V$$

נקודות העבודה של הדיודות:

$$D_1: (-3V, 0.215mA)$$

$$D_2: (0.766V, 2.66mA)$$

## שאלה 2:

א. נרשום 2 משוואות:

$$1. \quad I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p}\right)^2 = 8 \left(1 - \frac{V_{GS}}{-4}\right)^2 = 8(1 + 0.25V_{GS})^2$$

$$2. \quad V_{GS} = V_G - V_s = \frac{V_{DD} \cdot R_3}{R_3 + R_2} - I_D \cdot R_s = \frac{20 \cdot 100}{100 + 900} - I_D \cdot 1 = 2 - I_D$$

נציב משוואה (2) למשוואה (1)

$$1. \quad I_D = 8[1 + 0.25(2 - I_D)]^2 = 8[1 + 0.5 - 0.25I_D]^2 = 8(1.5 - 0.25I_D)^2$$

$$I_D = 8(2.25 - 0.75I_D + 0.0625I_D^2) = 18 - 6I_D + 0.5I_D^2$$

$$0.5I_D^2 - 7I_D + 18 = 0$$

פתרון המשוואה הריבועית נותן:

$$I_D = \frac{10.6mA \pm 3.39mA}{2} = 3.39mA$$

מבין 2 התוצאות, הנכונה היא  $I_D = 3.39mA$

חישוב  $V_{DS}$

$$V_{DD} = I_D \cdot R_4 + V_{DS} + I_D \cdot R_5$$

$$20 = 3.39 \cdot 4 + V_{DS} + 3.39 \cdot 1 \Rightarrow V_{DS} = 3.05V$$

(3.05V, 3.39mA) נקודת העבודה של הטרנזיסטור:

ב.

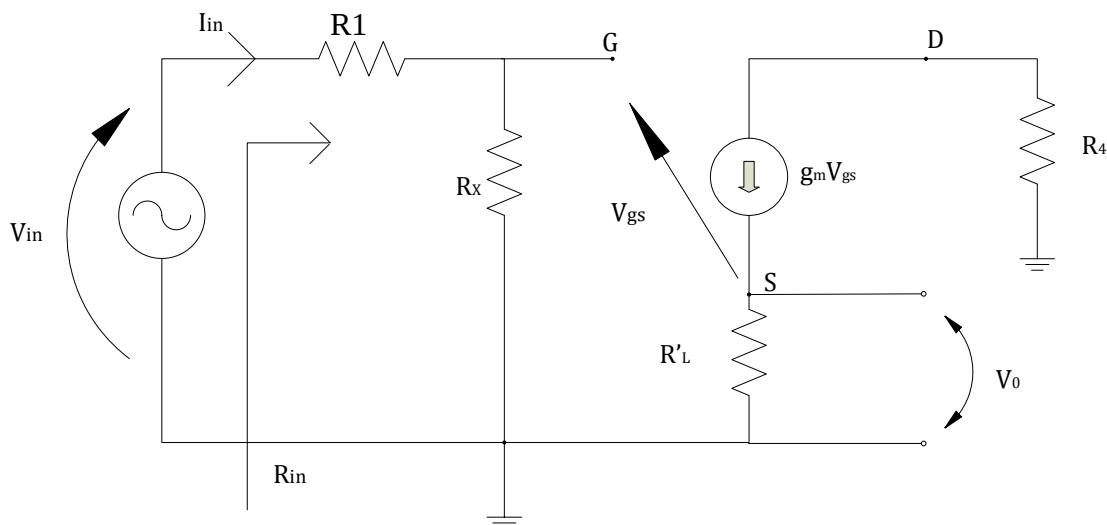
$$R_{in} = R_1 + R_2 || R_3 = 10 + \frac{900 \cdot 100}{900 + 100} = 100k\Omega$$

ג.

תחילה נחשב את הפרמטר  $g_m$ :

$$g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_p|} \cdot \sqrt{\frac{I_D}{I_{DSS}}} = \frac{2.8}{4} \cdot \sqrt{\frac{3.39}{8}} = 2.6mhm0$$

מעגל תמורה של המגבר לאות חילופין:



$$R_X = R_2 || R_3 = 90k\Omega$$

$$R'_L = R_5 || R_L = \frac{1 \cdot 2}{1 + 2} = 0.66k\Omega$$

חישוב הגבר המתח

$$1. V_0 = g_m \cdot V_{gs} \cdot R'_L = 2.6 \cdot V_{gs} \cdot 0.66 = 1.75V_{gs} = V_0$$

$$2. V_{in} = V_{R1} + V_{gs} + V_0 = \frac{V_i \cdot R_1}{R_1 + R_X} + V_{gs} + 1.75V_{gs}$$

$$V_{in} = V_{in} \cdot \frac{10}{100} + 2.75V_{gs} = 0.1V_{in} + 2.75V_{gs}$$

$$0.9V_{in} = 2.75V_{gs}$$

נחלק משוואה (1) ב (2):

$$\frac{V_0}{0.9V_{in}} = \frac{1.75V_{gs}}{2.75V_{gs}} = 0.636$$

$$A_V = \frac{V_0}{V_{in}} = 0.636 \cdot 0.9 = 0.57$$

חישוב הגבר הזרם

$$A_I = \frac{I_0}{I_{in}} = \frac{\left(\frac{V_0}{R_L}\right)}{\left(\frac{V_{in}}{R_{in}}\right)} = A_V \cdot \frac{R_{in}}{R_L} = 0.57 \cdot \frac{100}{2} = 28.5$$

.ד

$$V_A(t) = V_{A_{DC}} + V_{A_{AC}} = I_D \cdot R_5 + 0.57V_{in}$$

$$V_A(t) = 3.39 \cdot 1 + 0.57[0.1\sin\omega t] = 3.39 + 0.057\omega t[V]$$

### שאלה 3:

א.

תחילה נחשב את זרמי הטרנזיסטור  $Q_3$ :

$$1. \quad 0 = I_{R_1} \cdot R_1 + 2 \cdot V_D + I_{R_2} \cdot R_2 + V_{EE}$$

נציב במקום  $I_{R_2}$ :

$$\begin{aligned} I_{R_2} &= I_{R_1} - I_{B_3} \\ 0 &= I_{R_1} \cdot 5 + 1.4 + (I_{R_1} - I_{B_3})5 - 6 \\ \mathbf{4.6} &= \mathbf{10I_{R_1} - 5I_{B_3}} \end{aligned}$$

$$2. \quad 0 = I_{R_1} \cdot R_1 + V_{BE_3} + I_{E_3} \cdot R_3 + V_{EE}$$

$$\begin{aligned} &\downarrow \\ &(B + 1)I_{B_3} \\ 0 &= I_{R_1} \cdot 5 + 0.7 + 101I_{B_3} \cdot 1 - 6 \\ \mathbf{5.3} &= \mathbf{5I_{R_1} + 101I_{B_3}} \end{aligned}$$

פתרון המשוואות נותן:

$$\begin{aligned} I_{R_1} &= 0.478mA \\ I_{B_3} &= 0.036mA \\ I_{C_3} &= \beta I_{B_3} = 2.88mA \\ I_{E_3} &= 2.91mA \end{aligned}$$

עקב הסימטריה מתקבל:

$$\begin{aligned} I_{E_1} = I_{E_2} &= \frac{I_{C_3}}{2} = \frac{2.88}{2} = 1.44mA \\ I_{B_1} = I_{B_2} &= \frac{I_{E_1}}{\beta + 1} = \frac{1.44}{81} = 0.017mA \\ I_{C_1} = I_{C_2} &= \beta I_{B_1} = 1.36mA \end{aligned}$$

**חישוב  $V_{CE_3}$**

$$\begin{aligned} 0 &= V_{BE_1} + V_{CE_3} + I_{E_3} \cdot R_3 + V_{EE} \\ 0 &= 0.6 + V_{CE_3} + 2.91 \cdot 1 - 6 \Rightarrow V_{CE_3} = 2.49V \\ &\text{נקודת העבודה של } Q_3: (2.49V, 2.88mA) \end{aligned}$$

**חישוב  $V_{CE_1} = V_{CE_2}$**

$$\begin{aligned} V_{CC} &= I_{C_1} \cdot R_{C_1} + V_{CE_1} + V_{E_1} \\ 6 &= 1.36 \cdot 2 + V_{CE_1} - 0.7 \Rightarrow V_{CE_1} = V_{CE_2} = 3.98V \\ &\text{נקודת העבודה של } Q_1 \text{ ו } Q_2: (3.98V, 1.36mA) \end{aligned}$$

ב.

$$V_0 = A_d \cdot V_d + A_c \cdot V_c$$

(משמש כמקור זרם)  $A_c = 0$

$$V_d = V_{in}$$

$$V_0 = A_d \cdot V_{in} \Rightarrow \frac{V_0}{V_{in}} = A_d$$

$$|A_d| = \frac{hfe \cdot R_L'}{2h_{ie}}$$

$$R_L' = R_{C2} || R_L = \frac{2 \cdot 6}{2 + 6} = 1.5k\Omega$$

$$|A_d| = \frac{80 \cdot 1.5}{2 \cdot 2} = 30$$

$$\frac{V_0}{V_{in}} = 30$$

ג.

$$V_0 = A_v \cdot V_{in} = 30 \cdot 0.1 \sin \omega t = 3 \sin \omega t$$

## שאלה 4:

א.

$$V_0 = V_z \left( 1 + \frac{R_2}{R_3} \right) = 6 \left( 1 + \frac{10}{30} \right) = 8V$$

$$I_z = \frac{V_0 - V_z}{R_1}$$

$$1. \quad I_{z_{min}} = \frac{V_0 - V_z}{R_{1_{max}}} \Rightarrow R_{1_{max}} = \frac{V_0 - V_z}{I_{z_{min}}} = \frac{8 - 6}{4} = 0.5k\Omega$$

$$I_{z_{max}} = \frac{P_{z_{max}}}{V_z} = \frac{400}{6} = 66.66mA$$

$$2. \quad I_{z_{max}} = \frac{V_0 - V_z}{R_{1_{min}}} \Rightarrow R_{1_{min}} = \frac{V_0 - V_z}{I_{z_{max}}} = \frac{8 - 6}{66.66} = 30\Omega$$

$$0.5k\Omega \geq R_1 \geq 30\Omega$$

ב.

$R_{L_{min}}$  יחושב לפני שהגבלת הזרם נכנסת לפעולה:

$$I_E = I_{SC} = \frac{2V_{D_{ON}} - V_{BE_3}}{R_{SC}} = \frac{1.4 - 0.7}{1} = 0.7A = 700mA$$

$$* I_{SC} = I_{R_1} + I_{R_2} + I_L$$

$$I_{R_1} = \frac{V_0 - V_z}{R_1} = \frac{8 - 6}{0.1} = 20mA$$

$$I_{R_2} = I_{R_3} = \frac{V_0}{R_2 + R_3} = \frac{8}{40} = 0.2mA$$

$$I_L = \frac{V_0}{R_{L_{min}}} = \frac{8}{R_{L_{min}}}$$

נציב ב- \*:

$$700 = 20 + 0.2 + \frac{8}{R_{L_{min}}}$$

$$R_{L_{min}} = 11.7\Omega$$

ג.

נניח בסעיף זה ש  $R_1 = 0.1k\Omega$

$$I_E = I_{R_1} + I_{R_2} + I_L$$

$$I_E = 20 + 0.2 + \frac{8}{0.1} = 100.2mA$$

$$I_0 = I_B = \frac{I_E}{\beta + 1} = \frac{100.2}{81} = 1.23mA$$

### שאלה 5:

א.

$$R_1 = R_2 = \frac{V_{CC} - V_{D_1}}{I_{D_1}} = \frac{12 - 0.7}{3} = 3.76k\Omega$$

ב. תפקיד  $D_1$  ו  $D_2$  למנוע את עיוותי המעבר הנוצרים במגברי הספק CLASS B. משמשים כנגדי הגנה בפני זרם יתר (קצר במוצא).  $R_{E_1}$  ו  $R_{E_2}$

ג1.

$$V_{0max} = \frac{(V_{CC} - V_{CES}) \cdot R_L}{R_{E_1} + R_L} = \frac{(12 - 1.2) \cdot 8}{8.5} = 10.16V$$

$$P_{Lmax} = \left( \frac{V_{0max}}{\sqrt{2}} \right)^2 \cdot \frac{1}{R_L} = \frac{V_{0max}^2}{2R_L} = \frac{10.16^2}{2 \cdot 8} = 6.45W$$

ג2.

$$\eta = \frac{P_{Lmax}}{P_{CC}} \cdot 100$$

$$P_{CC} = 2V_{CC} \cdot I_{CCav}$$

$$I_{CCav} = \frac{I_{max}}{\pi} = \frac{V_{0max}}{R_2 \cdot \pi} = \frac{10.16}{8 \cdot 3.14} = 0.4A$$

$$P_{CC} = 2 \cdot 12 \cdot 0.4 = 9.6W$$

$$\eta = \frac{6.45}{9.6} \cdot 100 = 67.1\%$$

ד.

$$V_{0max} = V_{EC2max} - V_{CC}$$

$$V_{EC2max} = V_{0max} + V_{CC} = 10.16 + 12 = 22.16V$$

## שאלה 6:

א.

$$\frac{V_0}{V_f} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

ב.

$$V_f = \frac{V_0 \cdot R_4}{R_4 + R_3 + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}}$$

$$\beta = \frac{V_f}{V_0} = \frac{R_4}{R_4 + R_3 + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}}$$

ג1.

תנאי המופע: זווית המופע הכוללת את המגבר וחוג המשוב צריכה להיות  $0^\circ$ .

ג2.

הגבר החוג  $|AB| \geq 1$

ד.

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{2.5 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 10^{-6}}} = 10k \frac{rad}{sec}$$

ה.

בתדר התנודות מתקיים:

$$* A \cdot B = 1$$

$$B = \frac{R_4}{R_3 + R_4} = \frac{10}{30} = \frac{1}{3} \text{ כאשר}$$

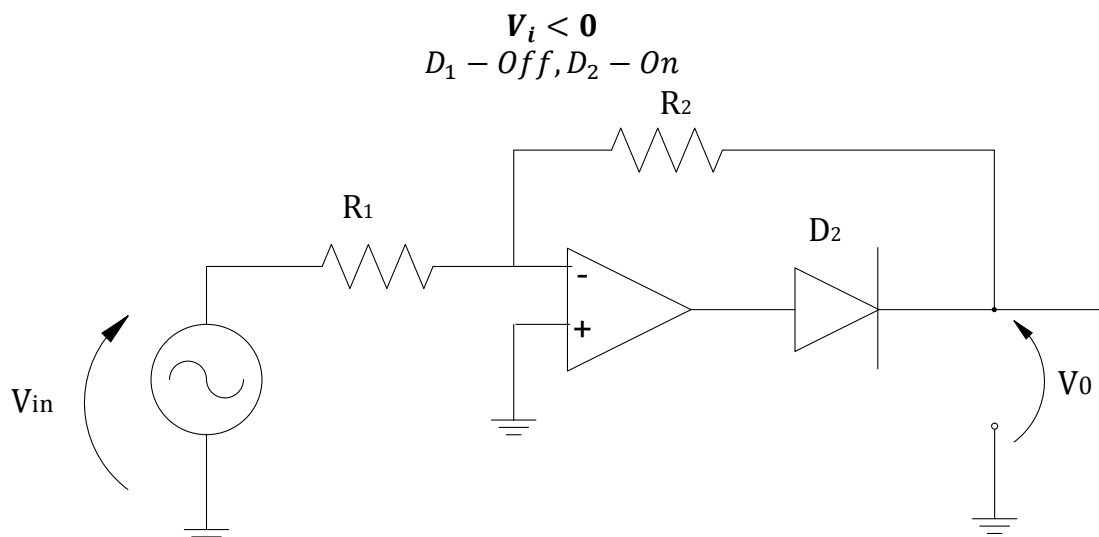
$$A = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 1 + \frac{5}{R_1}$$

נציב ב\*:

$$\left(1 + \frac{5}{R_1}\right) \frac{1}{3} = 1 \Rightarrow R_1 = 2.5k\Omega$$

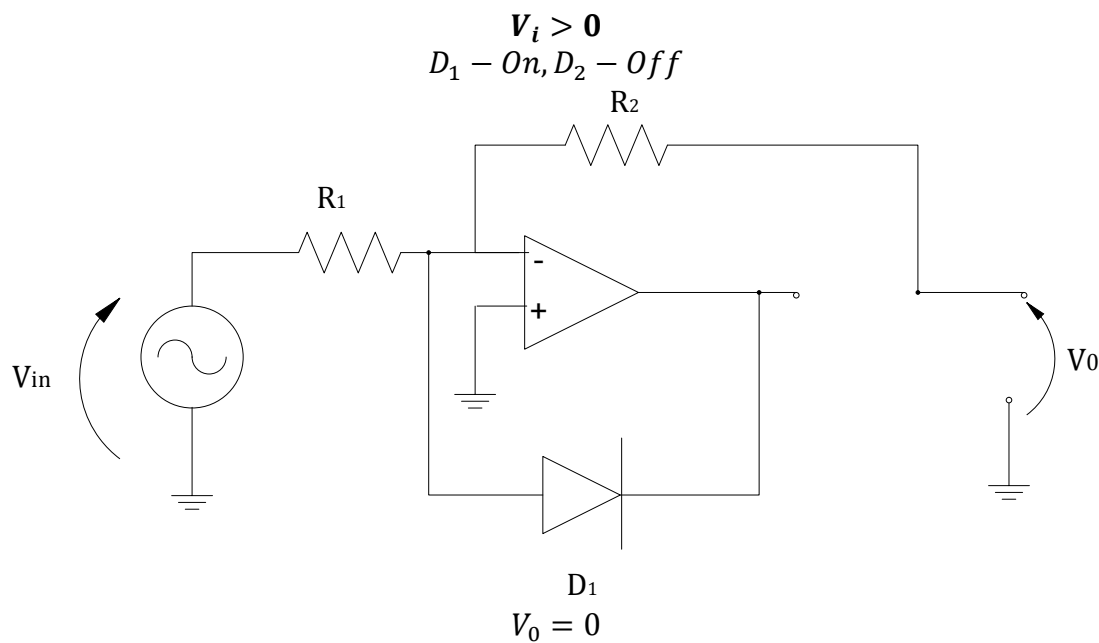
## שאלה 7:

א.1.

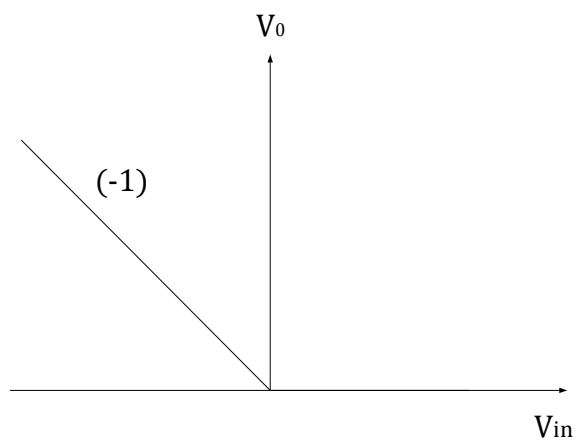


$$\frac{V_0}{V_{in}} = \frac{-R_2}{R_1} = \frac{-R}{R} = -1$$

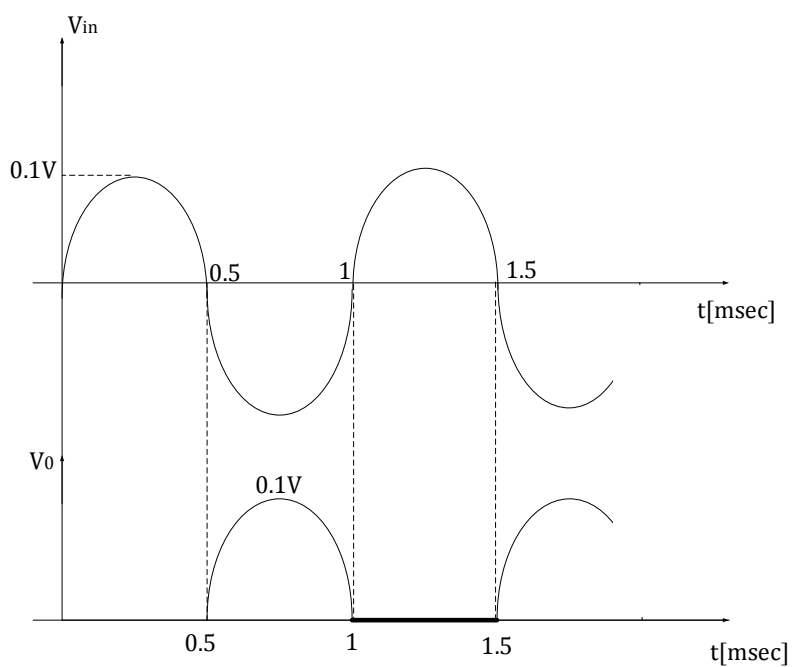
א.2.



ב.



ג.



## שאלה 8:

א.

ביטוי ל  $V_{01}$

$$\frac{V_{01} - V_{i1}}{R_1} = \frac{V_{i1} - V_{i2}}{R_X}$$

$$V_{01} = \frac{R_1}{R_X} (V_{i1} - V_{i2}) + V_{i1} = \frac{V_{i1}}{R_X} + V_{i1} - \frac{V_{i2}}{R_X} = V_{i1} \left(1 + \frac{1}{R_X}\right) - \frac{V_{i2}}{R_X}$$

ביטוי ל  $V_{02}$

$$\begin{aligned} \frac{V_{i1} - V_{i2}}{R_X} &= \frac{V_{i2} - V_{02}}{R_2} \\ -V_{02} &= \frac{R_2}{R_X} (V_{i1} - V_{i2}) - V_{i2} = \frac{V_{i1}}{R_X} - \frac{V_{i2}}{R_X} - V_{i2} \\ -V_{02} &= \frac{V_{i1}}{R_X} - V_{i2} \left(1 + \frac{1}{R_X}\right) \quad / \cdot (-1) \\ V_{02} &= V_{i2} \left(1 + \frac{1}{R_X}\right) - \frac{V_{i1}}{R_X} \end{aligned}$$

ב.

ביטוי ל  $V_0$

מכיוון שמתקיים התנאי:  $R_3 \cdot R_6 = R_5 \cdot R_4$  לכן:

$$V_0 = \frac{R_4}{R_3} (V_{02} - V_{01}) = \frac{4}{1} (V_{02} - V_{01})$$

נציב את הביטויים שקיבלנו עבור  $V_{02}$  ו  $V_{01}$  מסעיף א':

$$\begin{aligned} V_0 &= 4 \left[ V_{i2} \left(1 + \frac{1}{R_X}\right) - \frac{V_{i1}}{R_X} + \frac{V_{i2}}{R_X} - V_{i1} \left(1 + \frac{1}{R_X}\right) \right] \\ V_0 &= 4 \left[ V_{i2} \left(1 + \frac{2}{R_X}\right) - V_{i1} \left(1 + \frac{2}{R_X}\right) \right] \\ V_0 &= 4 \left(1 + \frac{2}{R_X}\right) (V_{i2} - V_{i1}) \end{aligned}$$

ג.

המעגל נקרא "מגבר מכשור" ומשמש כמגבר הפרש.