

## תוכן העניינים:

2	פרק 9
2	מגברי שרת
2	סרטון – מבוא למגברי שרת :
2	הגדרות יסודיות :
3	כללים :
4	פרמטרים מרכזיים של מעגלי הגבר :
4	מעגלי הגבר שכיחים :
5	תרגילים :
11	תשובות סופיות :
12	סרטון - אותות כניסה שונים במעגלי הגבר :
12	תרגילים :
15	תשובות סופיות :
16	סרטון – מעגלים גוזרים ואינטגרטורים :
16	סוגי מעגלים :
17	תרגילים :
18	תשובות סופיות :
20	סרטון – מגברי שרת מעשיים :
20	הגדרות כלליות :
21	תרגילים :
22	תשובות סופיות :
23	סרטון – ניתוח מעגלי הגבר במישור התדר :
23	תרגילים :
25	תשובות סופיות :

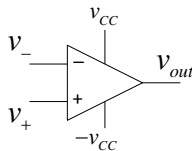
# פרק 9

## מגברי שרת

### סרטון – מבוא למגברי שרת:

#### הגדרות יסודיות:

מגבר שרת הוא רכיב בעל יכולת להגביר אות. מקובל לסמן את ההגבר באות  $A$  (מלשון: Amplifier) או  $G$  (מלשון: Gain).



מגבר שרת מורכב משני כניסות, יציאה אחת ומתחי הזנה. אופן הסימון של מגבר שרת הוא כדלהלן, כאשר:

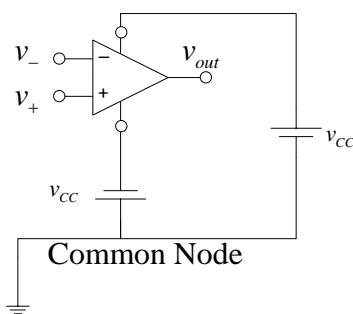
$v_{cc}$  - מתח הזנה של המגבר (Supply voltage).

$v_+$  - כניסה לא מהפכת (noninverting input) של המגבר.

$v_-$  - כניסה מהפכת (inverting input) של המגבר.

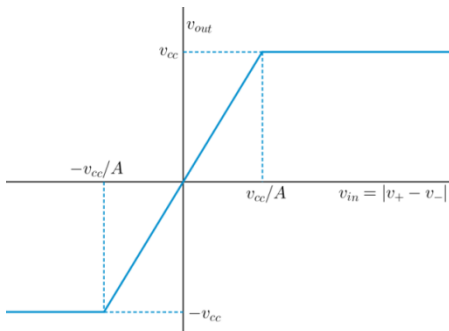
$v_{out}$  - מתח המוצא של המגבר ביחס לאדמה.

קשר בין מתחי המבוא למתח המוצא:  $v_{out} = A(v_+ - v_-)$  כאשר:  $A \rightarrow \infty$ .



#### סרטוט החיבורים המלא של מגבר שרת:

להלן סרטוט החיבורים המלא של מגבר שרת ובו מתחי ההזנה מחוברת באמצעות אדמה משותפת (Common node) לממתח חיובי ושילי:

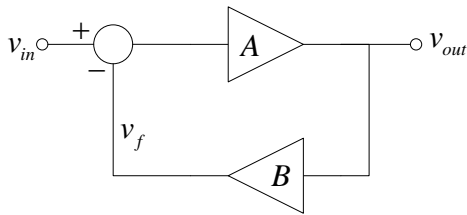


#### אופיין של מגבר שרת:

להלן אופיין מתח הכניסה והמוצא

של מגבר שרת  $v_{out} = Av_{in}$  כאשר  $v_{in} = v_+ - v_-$  ו-  $A$  הוא הגבר הרכיב:

**משוב שלילי:**



להלן המבנה הכללי של מערכת בקרה עם משוב שלילי. המעגל הראשי הוא בעל הגבר  $A$  ורשת המשוב מספקת הגבר  $B$ . ניתן לראות כי תחת

$$\text{ההנחה } A \rightarrow \infty \text{ מתקבל: } \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{1}{B}$$

**סוגי הגברים:**

- (1) ההגבר שמקיים את המשוואה:  $v_{out} = A(v_+ - v_-)$  נקרא **הגבר בחוג פתוח** והוא מיוחס להגבר הישיר של המגבר,  $A_{OL}$ , אשר שואף לאינסוף:  $A_{OL} \rightarrow \infty$ .
- (2) היחס  $A = \frac{v_{out}}{v_{in}}$  נקרא **ההגבר בחוג סגור** והוא מיוחס למעגל עם משוב שלילי. הגבר זה מסומן לעיתים גם כ-  $A_{CL}$ .
- (3) במידה ושני אותות שונים,  $v_1$  ו-  $v_2$ , אחד בכל כניסה, ההגבר בחוג סגור מוגדר לפי:  $A = \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{v_{out}}{v_2 - v_1}$  ובמקרה זה מקובל לקרוא לו גם **ההגבר הדיפרנציאלי של המעגל ולסמנו**:  $A_d = \frac{v_{out}}{v_2 - v_1}$ .

**כללים:**

**כללי הזהב:**

במגבר אידיאלי שבו משוב שלילי ניתן להניח את ההנחות הבאות:

- (1) המתחים בכל כניסה שווים זה לזה:  $v_+ = v_-$ .
- (2) לא נכנסים זרמים לכניסות המגבר:  $i_+ = i_- = 0A$ .

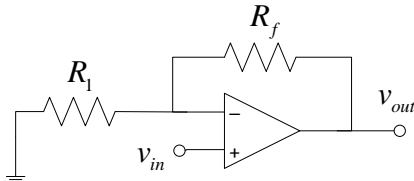
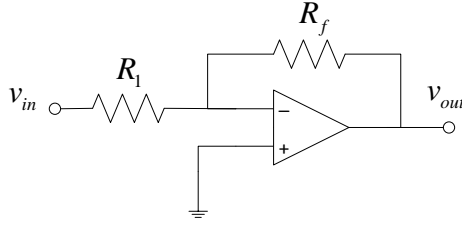
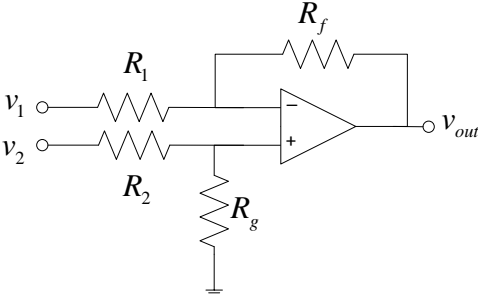
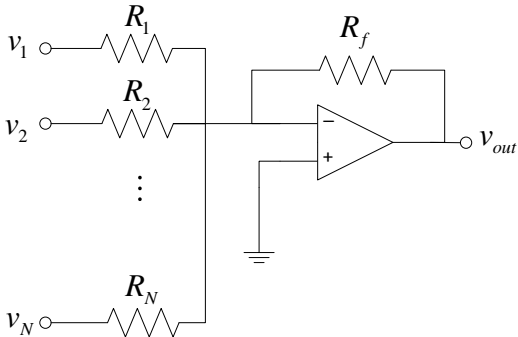
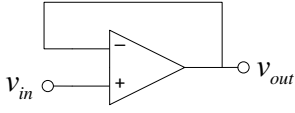
**כללים מנחים בניתוח מעגלי הגבר:**

- (1) מניחים כי המגבר אינו ברוויה.
- (2) בודקים שאכן קיים משוב שלילי.
- (3) לעולם לא מחברים משוואות זרמים בצומת המוצא של המגבר.

**פרמטרים מרכזיים של מעגלי הגבר:**

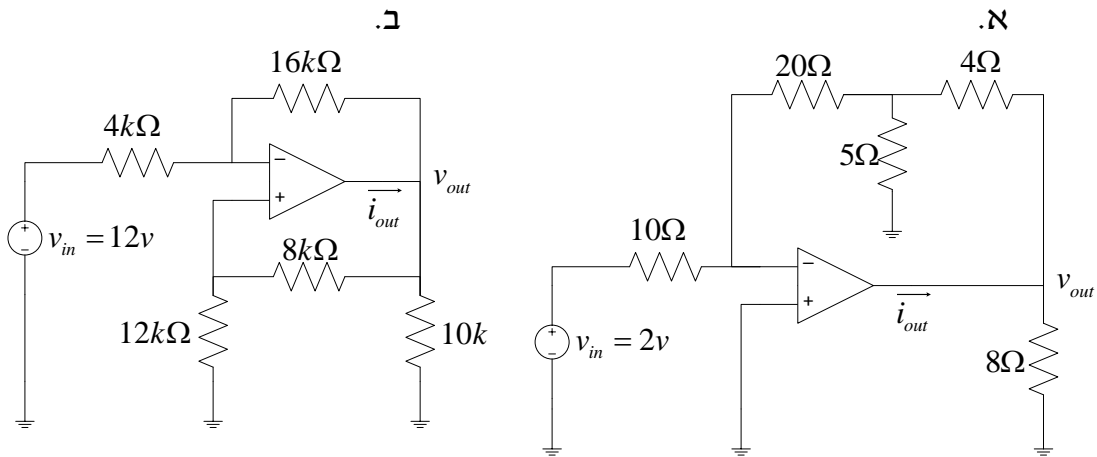
- התנגדות כניסה -  $R_{in}$  (התנגדות הכניסה של מגבר שרת אידאלי היא  $R_{in} = \infty$ ).
  - התנגדות מוצא -  $R_{out}$  (התנגדות המוצא של מגבר שרת אידאלי היא  $R_{out} = 0\Omega$ ).
  - הגבר המעגל -  $A$ :
- (מתח למתח:  $A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}}$ , מתח לזרם:  $A = \frac{i_{out}}{v_{in}}$ , זרם לזרם:  $A_i = \frac{i_{out}}{i_{in}}$ ).

**מעגלי הגבר שכיחים:**

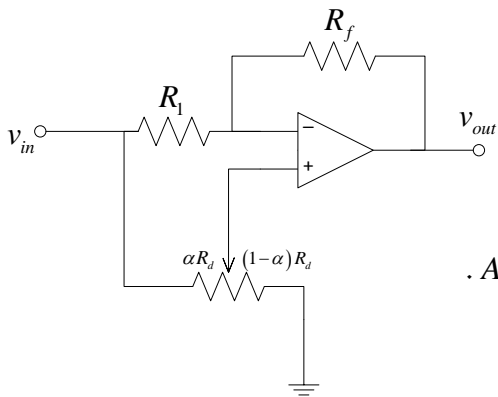
מעגל לא הופך מופע	מעגל הופך מופע
	
מגבר הפרש	מעגל מסכם הופך מופע
	
	מעגל חוצץ מתח
	

## תרגילים:

1) בכל אחד מהמעגלים שלפניך נתון מגבר שרת אידיאלי אשר מתפקד בתחום הליניארי שלו. מצא את  $v_{out}$ , את  $i_{out}$  ואת הספק המוצא של המגבר  $p_{out}$ .



2) לפניך המעגל הבא המורכב ממגבר שרת אידיאלי. הפוטנציומטר  $R_d$  נשלט ע"י הפרמטר  $\alpha$ ,  $0 \leq \alpha \leq 1$ .



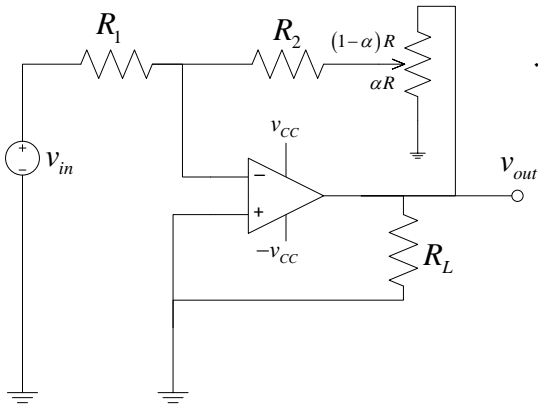
א. מצא ביטוי להגבר המעגל  $A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}}$

כתלות ברכיבי המעגל.

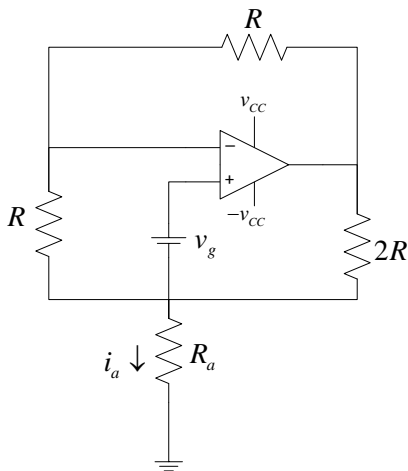
ב. סרטט את גרף ההגבר כתלות ב- $\alpha$ ,  $A_v = f(\alpha)$ .

ג. האם קיים  $\alpha$  עבורו מוצא המעגל יהיה  $0V$ ?

אם כן מצא תנאי על הנגדים  $R_1$  ו- $R_f$  עבורו.

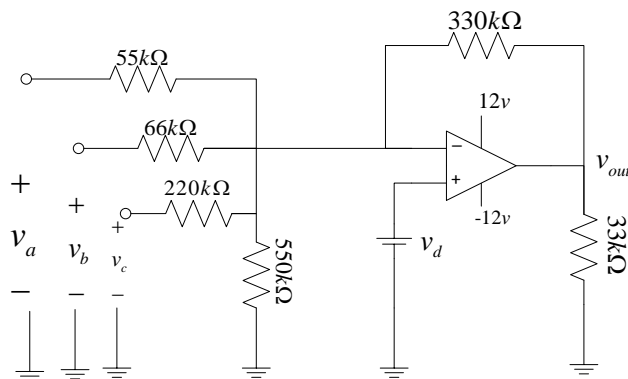


- (3) במעגל שלפניך נתון מגבר שרת אידיאלי. מתחי ההזנה שלו הם:  $v_{CC} = \pm 45V$  כמתואר. ערכי הנגדים הם:  $R_1 = 2k\Omega$ ,  $R_2 = 20k\Omega$ .  $R_L = 15k\Omega$  ו-  $R = 100k\Omega$ . ידוע כי עבור התחום  $0.2 \leq \alpha \leq 0.8$  המגבר אינו ברוויה. מצא את הערך המירבי של  $v_{in}$  אשר יקיים זאת.



- (4) לפניך המעגל הבא ובו מגבר שרת אידיאלי. ערכי כל הרכיבים נתונים ורשומים באיור.  
א. הבע את הזרם  $i_a$  באמצעות מקור המתח  $v_g$  והנגדים.  
ב. מצא ביטוי ל-  $R_a$  עבורו המגבר ימצא על סף הרוויה.

- (5) במעגל שלפניך נתון מגבר שרת אידיאלי. ערכי כל הרכיבים מופיעים בתרשים.

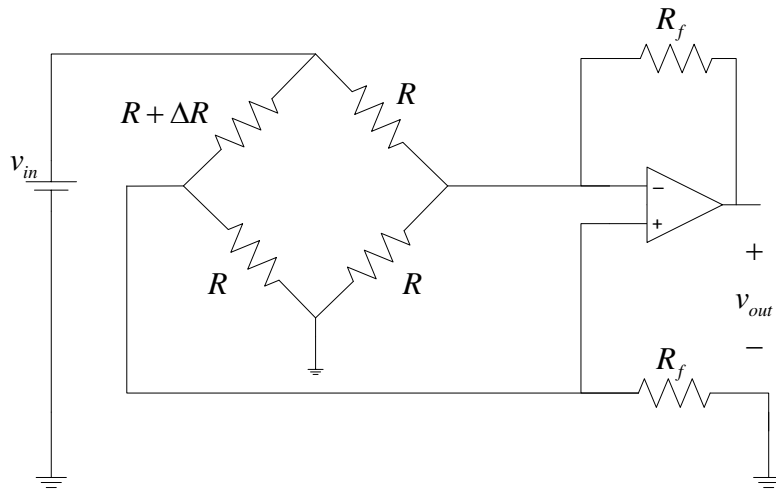


- א. מצא את מתח המוצא  $v_{out}$  עבור:  $v_a = 16V$ ,  $v_b = 12V$ ,  $v_c = -6V$ ,  $v_d = 10V$ .  
ב. תחת ההנחה כי המתחים  $v_a$ ,  $v_b$  ו-  $v_d$  שומרים על ערכם, מצא את תחום הערכים של  $v_c$  עבורו המגבר יתפקד בתחום הליניארי.  
ג. מחליפים את נגד המשוב  $330k\Omega$  בנגד משתנה  $R_f$ . ערכי המתחים הם כמפורט בסעיף א'. תחת ההנחה כי הוא יכול לקבל כל ערך חיובי אפשרי:  $0 \leq R_f < \infty$ , מצא את תחום ההתנגדות עבורו המגבר יהיה ברוויה.

6) השאלה הבאה עוסקת בתכנון מעגל:

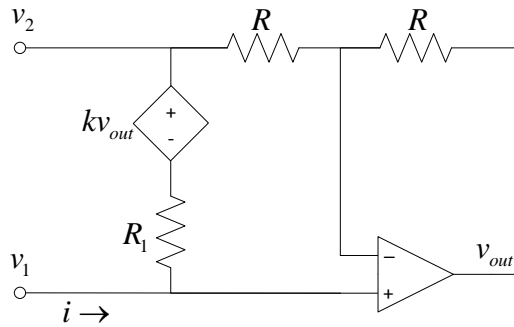
- א. תכנן מעגל מסכסם הופך מופע שמקיים:  $v_{out} = -(4v_a + 7v_b + 3v_c)$ .
- ב. התייחס למעגל שבנית בסעיף הקודם בתור קופסא סגורה ומצא מה יש להוסיף על מנת לקבל מוצא כולל (סופי) של:  $v_{out} = 4v_a + 7v_b + 3v_c$ .

7) במעגל שלפניך מגבר השרת הינו אידיאלי. ידוע כי  $\Delta R \ll R$ .



- א. הראה כי מתח המוצא ניתן לקירוב באופן הבא:  $v_{out} \approx -\frac{R_f(R + R_f) \cdot \Delta R}{R^2(R + 2R_f)} \cdot v_{in}$ .
- ב. נתונים ערכי הרכיבים הבאים:  $R_f = 520k\Omega$ ,  $R = 16k\Omega$ ,  $\Delta R = 90\Omega$ ,  $v_{in} = 12v$ .
- מצא את הערך המקורב של  $v_{out}$ .
  - מצא את הערך המדויק של  $v_{out}$ .
- ג. מגדירים שגיאה באופן הבא:  $\%Error = \left[ \frac{\text{approximate value}}{\text{actual value}} - 1 \right] \cdot 100$ .
- הראה כי ניתן לכתוב את השגיאה כך:  $\%Error = 100 \cdot \frac{\Delta R(R + R_f)}{R(R + 2R_f)}$ .
- ומצא את השגיאה עבור ערכי הרכיבים של סעיף ב'.
- ד. הנח כי שגיאת האחוז במציאת מתח המוצא לא חורגת מ-0.6%. מצא את השגיאה הגדולה ביותר האפשרית עבור  $R$  שהמעגל מסוגל להתמודד כדי לקיים את תנאי זה.

8) במעגל שלפניך נתון מגבר שרת אידיאלי. כל ערכי הרכיבים נתונים. מצא ביטוי לזרם  $i$  כתלות ברכיבי המעגל.



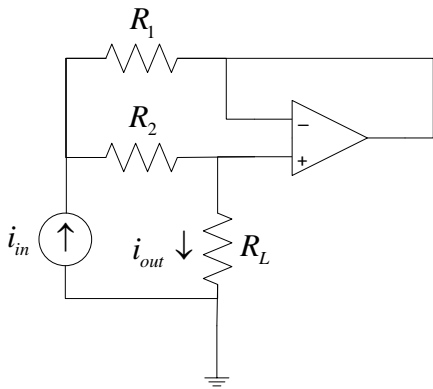
9) במעגל שלפניך נתון מגבר אידיאלי.

מכניסים מקור זרם  $i_{in}$ .

א. מצא את היחס  $A_i = \frac{i_{out}}{i_{in}}$ .

ב. מחברים במקביל למקור הזרם התנגדות  $R_S$ .

כתוב מעגל שקול תבנית עבור העומס  $R_L$ .



10) נתון המעגל הבא ובו מגבר שרת אידיאלי

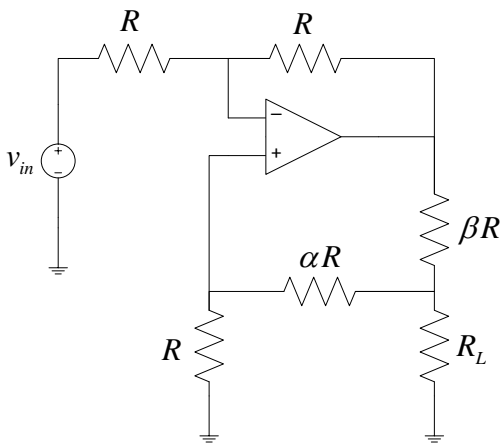
אשר פועל בתחום הליניאריות שלו.

ערכי כל הרכיבים נתונים במעגל.

הבע באמצעות  $\alpha$  ו- $\beta$  את התנגדות המוצא

של המעגל ומצא תנאי עליהם עבורו

תהיה למעגל התנגדות מוצא אינסופית.



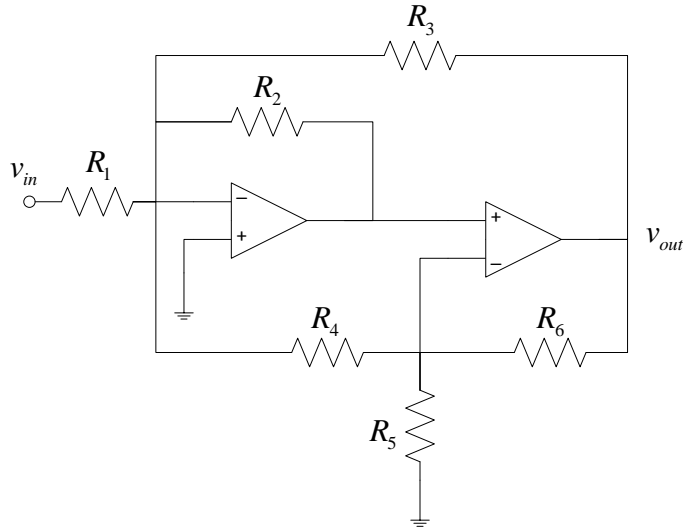


11 לפניך המעגל הבא. ערכי הרכיבים הם :

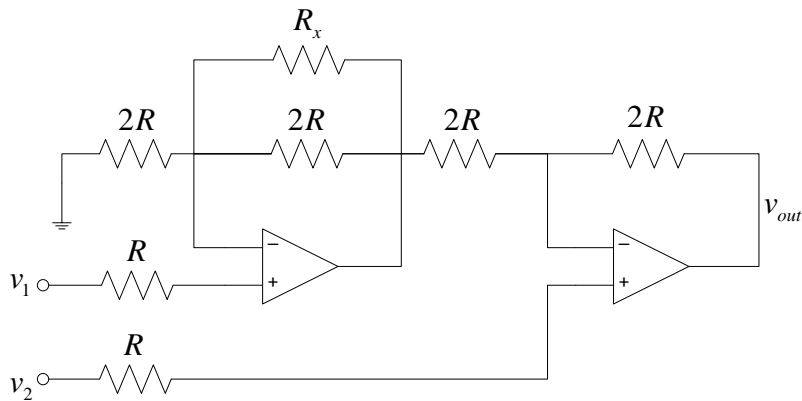
$$R_1 = 1k\Omega, R_2 = 2k\Omega, R_3 = 3k\Omega, R_4 = 6k\Omega, R_5 = 3k\Omega, R_6 = 4k\Omega$$

מצא את הגבר המתח  $A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}}$  במעגל שלפניך.

הנח כי שני המגברים הינם אידיאלים ופועלים בתחום הליניארי שלהם.



12 נתון מעגל הפרש הבא ובו מגברי השרת הם אידיאלים ופועלים בתחום הליניארי שלהם. כל ערכי הנגדים נתונים בתרשים.

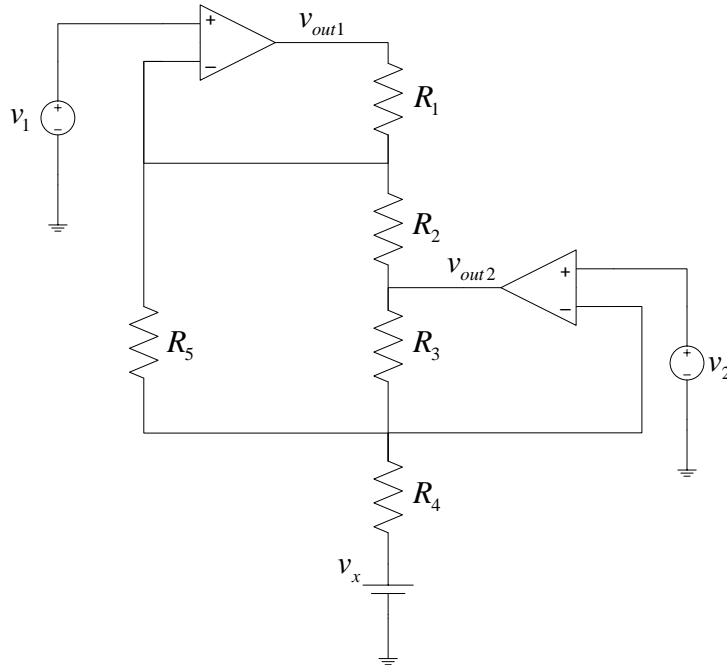


- א. כתוב את מתח המוצא כתלות במתחי הכניסה וערכי הנגדים.  
 ב. האם קיימים ערכים עבור הנגדים כך שיתקיים:  $v_{out} = 2v_2 - v_1$ ?  
 אם כן מצא אותם, אם לא נמק.

13 נתון המעגל הבא ובו מגברי שרת אידיאליים.

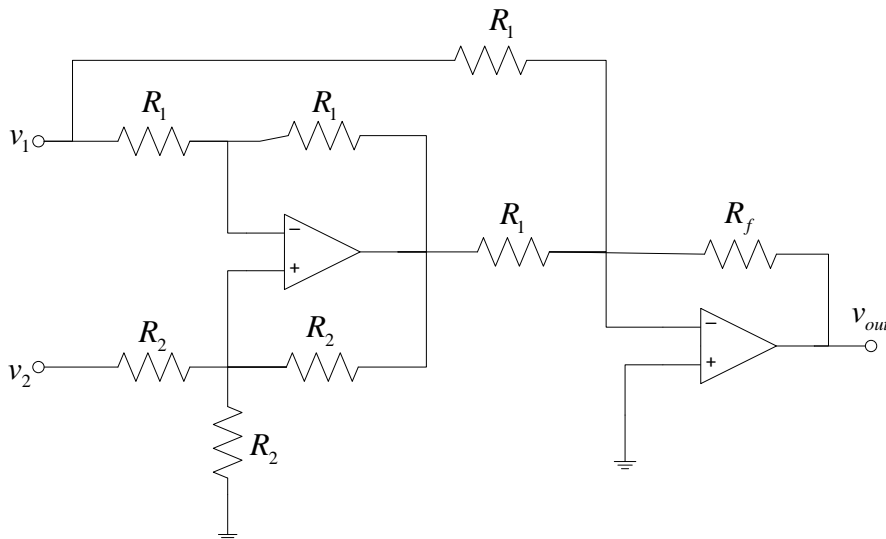
ערכי הרכיבים הם:  $R_1 = 4k\Omega$ ,  $R_2 = 2k\Omega$ ,  $R_3 = 3k\Omega$ ,  $R_4 = 1k\Omega$ ,  $R_5 = 0.5k\Omega$

וכן:  $v_1 = 5v$ ,  $v_2 = 3v$ . מצא את ערך המתח  $v_x$  עבורו יתקיים:  $v_{out1} - v_{out2} = 13v$ .



14 במעגל שבתרשים נתונים שני מגברי שרת אידיאליים. ערכי כל הרכיבים נתונים.

מצא תנאי על הנגדים  $R_1$  ו- $R_f$  עבורם ההגבר הדיפרנציאלי של המעגל יהיה 100.



## תשובות סופיות:

א.  $v_{out} = -8v$ ,  $i_{out} = -2A$ ,  $p_{out} = 16w$     ב.  $v_{out} = 24v$ ,  $i_{out} = 4.2mA$ ,  $p_{out} = 100.8mw$     (1)

א.  $A_v = 1 - \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right)\alpha$     ב.  $0 < \frac{R_1}{R_1 + R_f} < 1$     ג.    (2)

א.  $|v_{in}| \leq 100mv$     (3)

א.  $i_a = \frac{2v_g}{R}$     ב.  $R_a = \left(\frac{1}{2} \frac{v_{cc}}{v_g} - 1\right)R$     (4)

א.  $v_{out} = -6v$     ב.  $-18v \leq v_c \leq -2v$     ג.  $R_f > 453.75k\Omega$     (5)

א. מעגל מסכם עם:  $R_f = 4R_a = 7R_b = 3R_c$     (6)

ערכים לדוגמא:  $R_f = 84\Omega$ ,  $R_a = 21\Omega$ ,  $R_b = 12\Omega$ ,  $R_c = 28\Omega$

ב. להוסיף מעגל מהפך עם:  $R_f = R$

א.  $v_{out} = -1.11349v$     ב.  $v_{out} = -1.1103v$     (7)

א.  $\%Error = 0.285\%$     ב.  $\%Error = 1.18\%$     ג.

א.  $i = \frac{1}{R}(v_1(1+2k) - v_2(k+1))$     (8)

א.  $A_i = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$     ב.  $v_{TH} = i_{in}R_S$ ,  $R_{TH} = R_2 + R_S \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$     (9)

א.  $R_{out} = R \frac{(\alpha+1)\beta}{\alpha+\beta-1}$ , התנגדות אינסופית כאשר  $\alpha + \beta = 1$     (10)

א.  $A_v = -1.8$     (11)

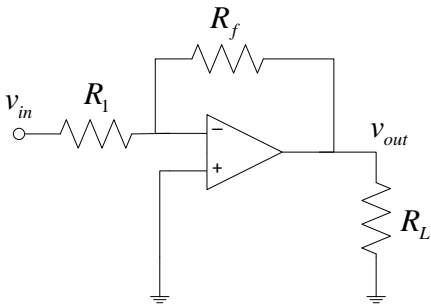
א.  $v_{out} = 2v_2 - \frac{2R+2R_x}{2R+R_x}v_1$     ב. כל עוד  $R_x = 0\Omega$  הדרישה תתקיים.    (12)

א.  $v_x = -2v$     (13)

א.  $R_f = 50R_1$     (14)

## סרטון - אותות כניסה שונים במעגלי הגבר:

### תרגילים:



1) לפניך המעגל הבא המורכב ממגבר שרת אידיאלי.

נתון כי:  $R_f = 470k\Omega$ ,  $R_1 = 9.4k\Omega$ ,  $R_L = 1M\Omega$

וכי מתח האספקה למגבר הוא  $v_{CC} = 24V$ .

מצא וצייר את אות המוצא  $v_{out}(t)$  כפונקציה

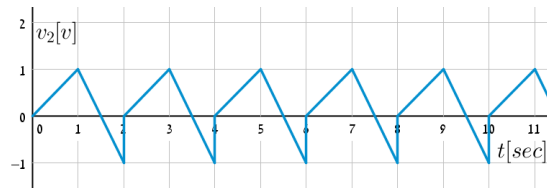
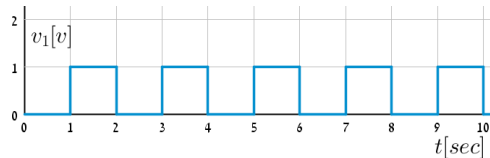
של  $t$  עבור כל אחד מאותות הכניסה  $v_{in}(t)$  הבאים:

- א.  $v_{in}(t) = k \cdot u(t)$ . בתשובתך התייחס לערכים שונים של  $k$ .
- ב.  $v_{in}(t) = k(u(t) - u(t-2))$ . בתשובתך התייחס לערכים שונים של  $k$ .
- ג.  $v_{in}(t) = r(t)$ . קבע לאחר כמה זמן ייקטס מתח המוצא  $v_{out}(t)$ .
- ד.  $v_{in}(t) = k \cdot e^{-2t}u(t)$ . מצא את  $k$  המירבי עבורו מתח המוצא לא ייקטס.

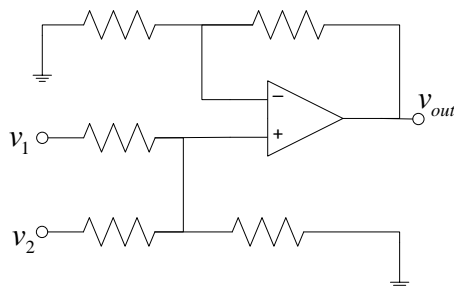
2) בכל אחד מהמעגלים שלפניך נתון מגבר שרת אידיאלי.

ערכי כל הנגדים בכל סעיף הם  $50k\Omega$ . נתונים אותות הכניסה הבאים:

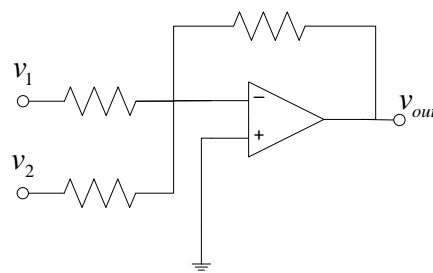
מצא וצייר את אות המוצא  $v_{out}(t)$ , כתוב הגבלה על מתח ההזנה עבורו מתח המוצא לא ייקטס.



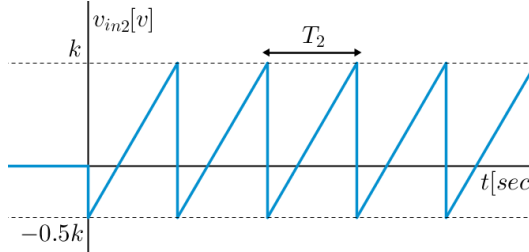
ב.



א.

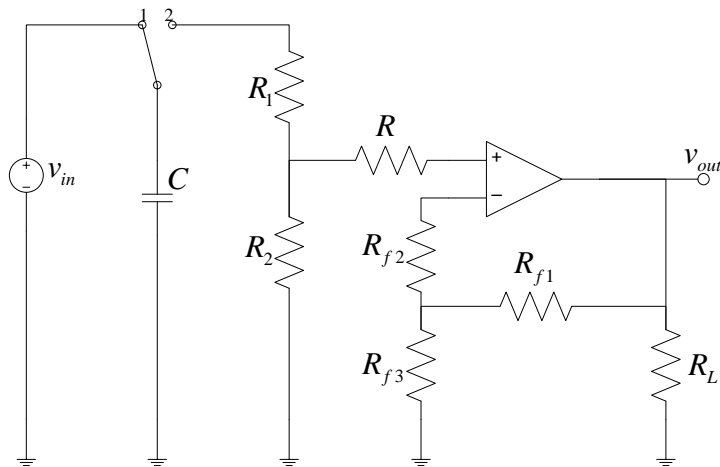


- 3) תכנון מעגל בעל דרגת הגבר אחת, אשר מסכם שני אותות כניסה  $v_1(t)$  ו-  $v_2(t)$  באופן הבא :  $v_{out}(t) = 2v_1(t) + v_2(t)$  כאשר :  $v_1(t) = \sin(\omega t)u(t)$  ו-  $v_2(t)$  מתואר בגרף הבא :



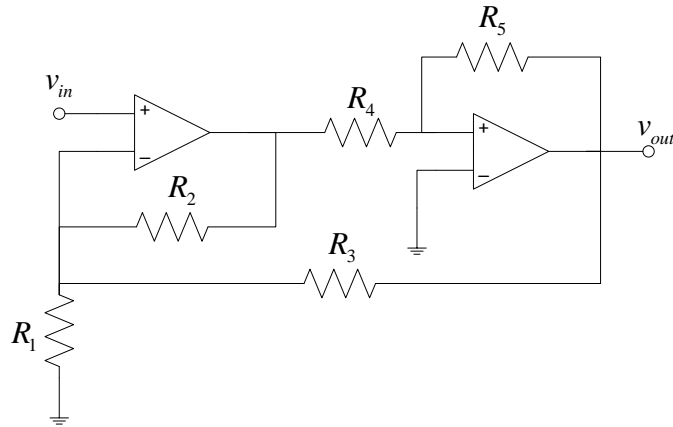
נתון כי מתח האספקה הוא  $20v$ . מצא תנאי על  $k$  עבורו בתכנון המעגל שלך מתח המוצא לא ייקטם כלל.

- 4) לפניך שני מעגלים המשורשרים זה לזה. המעגל הראשון הינו מעגל RC ובו מתח כניסה  $v_{in}$  אשר טוען קבל  $C$  במשך הרבה זמן (שימו לב – המפסק נמצא במצב 1). בזמן  $t = 0$  מעבירים את המפסק למצב 2. המעגל השני מורכב ממגבר שרת אידיאלי ורשת נגדים.

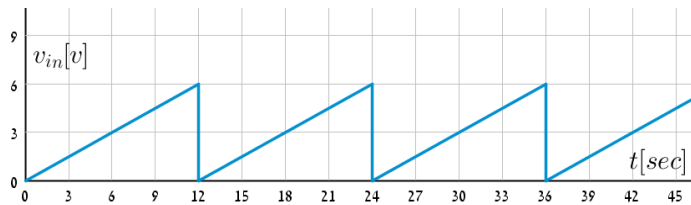


- א. הבע באמצעות  $v_{in}$ ,  $C$ ,  $R_1$  ו-  $R_2$  את המתח בכניסה החיובית של מגבר השרת.  
 ב. הראה כי אם :  $R_1 = R_2 = R$  ו-  $R_{f1} = R_{f2} = R_{f3} = R_f$  אז הגבר המערכת כולה הוא :  $A(t) = \exp\{-t / (2RC)\}$ .  
 ג. מצא הגבלה על מתח הכניסה  $v_{in}$  עבורו מתח המוצא לא ייקטם לכל  $t$  (הבע את תשובתך במונחי מתח האספקה  $v_{CC}$ ).

5) לפניך מעגל המורכב משתי דרגות הגבר. הנח כי ערכי כל הרכיבים נתונים וכי מגברי השרת הינם אידיאליים.



- א. הראה כי אם אות המוצא של אחד המגברים אינו הופך מופע אז וודאי שהמוצא האחר יהיה הופך מופע. מה התנאי על הנגדים עבורם מוצא המגבר הראשון יהיה הופך מופע?
- ב. כעת נתונים:  $R_1 = 1k\Omega$ ,  $R_2 = 2k\Omega$ ,  $R_3 = 1k\Omega$ ,  $R_4 = 4k\Omega$ ,  $R_5 = 6k\Omega$ . מכניסים את האות הבא:



צייר את האות המתקבל במוצא כל אחד מהמגברים עבור מתחי ההזנה הבאים:

i.  $v_{cc1} = v_{cc2} = 22.5v$

ii.  $v_{cc1} = v_{cc2} = 15v$

iii.  $v_{cc1} = v_{cc2} = 10v$

- ג. כתוב הגבלה עבור אות הכניסה  $v_{in}(t) = a \cdot u(t)$  (כלומר תנאי על  $a$ ) עבורו האות במוצא המעגל לא ייקטם בכל אחד מהמקרים שתוארו בסעיף הקודם.

תשובות סופיות:

$$v_{out}(0 < t < 2) = \begin{cases} 24 & k < -0.48 \\ -50k & -0.48 \leq k < 0.48 \\ -24 & k > 0.48 \end{cases} \quad \text{ב.} \quad v_{out}(t) = \begin{cases} 24 & k < -0.48 \\ -50k & -0.48 \leq k < 0.48 \\ -24 & k > 0.48 \end{cases} \quad \text{א. (1)}$$

$$v_{out}(t) = \begin{cases} 24 & t \leq 0 \\ -50t & 0 \leq t < 0.48 \\ -24 & t > 0.48 \end{cases} \quad \text{ג.}$$

$$.T = -\frac{1}{2} \ln \frac{24}{50k}, \quad v_{out}(t) = \begin{cases} -24(u(t) - u(t-T)) - 50ke^{-2(t-T)}u(t-T) & k > 0.48 \\ -50ke^{-2t}u(t) & -0.48 \leq k < 0.48 \\ 24(u(t) - u(t-T)) - 50ke^{-2(t-T)}u(t-T) & k < -0.48 \end{cases} \quad \text{ד.}$$

$$. |v_{cc}| \geq 2 : \text{הדרישה} \quad v_{out}(t) = -(v_1 + v_2) \quad \text{א. (2)}$$

$$. |v_{cc}| \geq \frac{4}{3} : \text{הדרישה} \quad v_{out}(t) = \frac{2}{3}(v_1 + v_2) \quad \text{ב.}$$

$$. R_2 = 2R_1, R_f = 2R_g : \text{התנאים} \quad \text{ג. (3)}$$

$$. v_{in} \leq v_{CC} \quad \text{ג.} \quad v_+(t) = \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_{in} e^{-\frac{t}{C(R_1 + R_2)}} u(t) \quad \text{א. (4)}$$

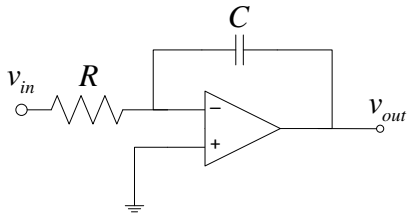
$$R_3 R_4 < R_2 R_5 \quad \text{א. (5)}$$

$$. |a| \leq 2\frac{2}{3}v \quad \text{ג. iii.} \quad |a| \leq 4v \quad \text{ג. ii.} \quad |a| \leq 6v \quad \text{ג. i.}$$

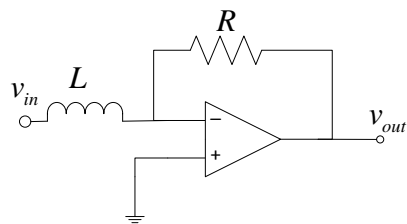
## סרטון – מעגלים גוזרים ואינטגרטורים:

סוגי מעגלים:

מעגלי אינטגרטור בסיסיים:

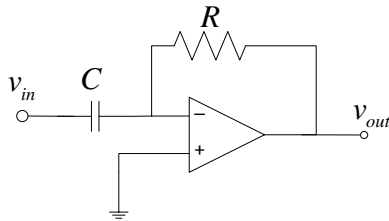


$$v_{out}(t) = -\frac{1}{RC} \int_{t_0^+}^{\infty} v_{in}(t) dt + v_c(t_0^+) : \text{משוואה כללית}$$

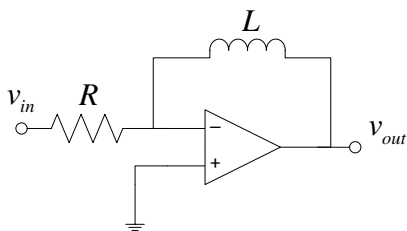


$$v_{out}(t) = -\frac{R}{L} \int_{t_0^+}^{\infty} v_{in}(t) dt + Ri_L(t_0^+) : \text{משוואה כללית}$$

מעגלים גוזרים בסיסיים:



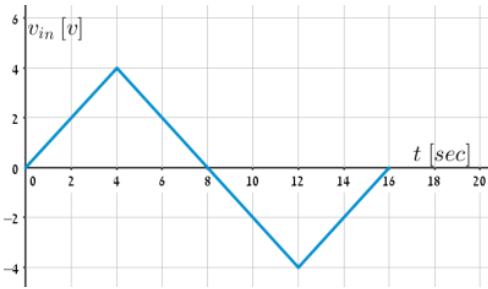
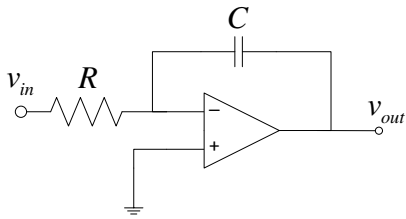
$$v_{out}(t) = -RC \frac{dv_{in}(t)}{dt} : \text{משוואה כללית}$$



$$v_{out}(t) = -\frac{L}{R} \frac{dv_{in}(t)}{dt} : \text{משוואה כללית}$$

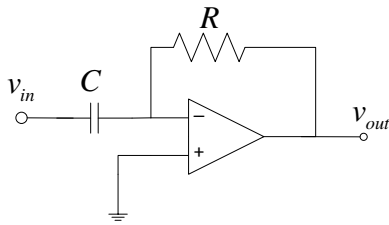


תרגילים:

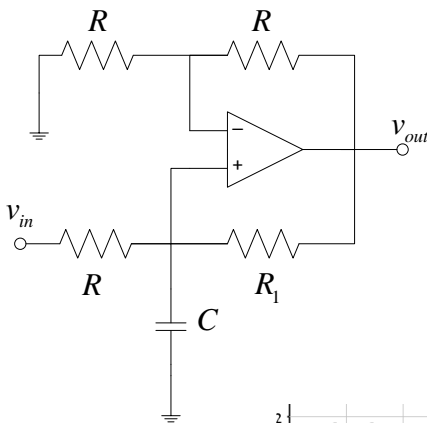


- (1) במעגל שלפניך נתון מגבר שרת אידיאלי.  
 ערכי הרכיבים הם:  $R = 200k\Omega$ ,  $C = 2\mu F$ .  
 לא אגורה אנרגיה בקבל ונתון כי:  $|v_{CC}| = 50v$ .  
 א. חשב וצייר את מתח המוצא עבור כניסה סינוסית בתדר של  $200Hz$  ו-  $v_p = 10v$ .

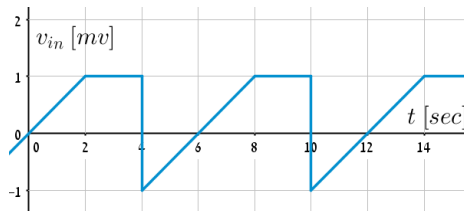
- ב. חשב וצייר את מתח המוצא עבור הכניסה הבאה:  
 ג. כיצד תשתנה תשובתך לסעיפים הקודמים אם נתון:  $|v_{CC}| = 30v$ ?



- (2) במעגל שלפניך נתון מגבר שרת אידיאלי.  
 ערכי הרכיבים הם:  $R = 10k\Omega$ ,  $C = 1mF$ .  
 א. חשב וצייר את מתח המוצא עבור כניסת שן מסור בעלת שיפוע של  $1.5 \frac{v}{sec}$ .  
 ב. חשב וצייר את מתח המוצא עבור כניסה סינוסית בתדר של  $200Hz$  ו-  $v_p = 10v$  (הנח כי המגבר אינו נכנס לרוויה).

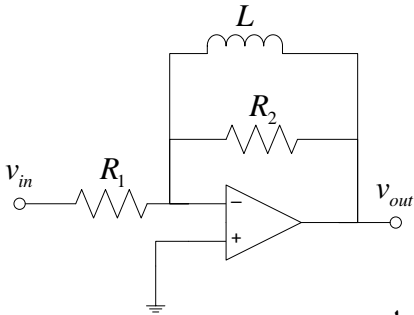


- (3) לפניך המעגל הבא המורכב ממגבר שרת אידיאלי.  
 ערכי הרכיבים:  $R$  ו-  $C$  נתונים. מתקיים:  $R = R_1$ .  
 א. נסח משוואה דיפרנציאלית המתאימה למעגל ותאר את פעולתו.  
 ב. נתון כי:  $R = R_1 = 1k\Omega$ ,  $C = 2\mu F$ ,  $v_{CC} = 10v$ .  
 חשב את מוצא המעגל עבור:  
 i. אות כניסה:  $v_{in}(t) = 3\cos(60\pi t)$  [v].  
 ii. האות הבא:



- ג. מנתקים את הנגד  $R_1$ .  
 נסח משוואה דיפרנציאלית מתאימה ותאר את פעולת המעגל כעת.

4 במעגל שלפניך נתון מגבר שרת אידיאלי עם מתח אספקה  $v_{cc}$ .



ערכי הרכיבים  $R_1, R_2, L$  הם נתונים.

ידוע כי הזרם האגור בסליל הוא:  $i_L(0^-) = i_0$ .

א. כתוב משוואה דיפרנציאלית המתארת את פעולת המעגל.

ב. מכניסים למעגל את הכניסה  $v_{in}(t) = v_0 \frac{R_1}{R_2} u(t)$ .

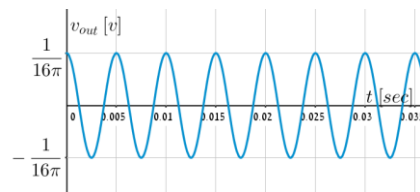
( $v_0$  פרמטר). מצא תנאי על  $i_0$  עבורו מוצא המעגל לא ייקטם.

ג. מכניסים למעגל את הכניסה  $v_{in}(t) = v_0 e^{-\frac{R_2 t}{L}} u(t)$ .

מצא תנאי על  $i_0$  עבורו מוצא המעגל לא ייקטם.

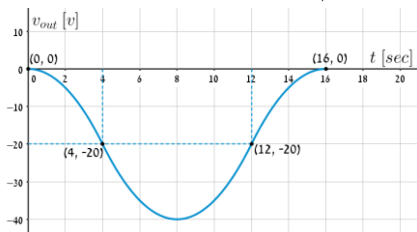
## תשובות סופיות:

1 א. להלן האות:



$$v_{out}(t) = \frac{1}{16\pi} \cos(400\pi t) \quad \text{א.}$$

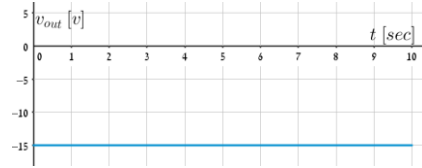
ב. להלן האות:



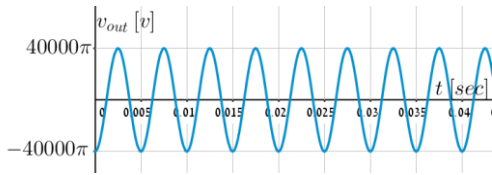
$$v_{out}(t) = \begin{cases} -1.25t^2 & 0 < t \leq 4 \\ 1.25t^2 - 20t + 40 & 4 < t \leq 12 \\ 40t - 1.25t^2 - 320 & 12 < t \leq 16 \\ 0 & t \leq 0, t > 16 \end{cases} \quad \text{ב.}$$

בסעיף א' כלום לא ישתנה. בסעיף ב' תהיה קטימה של האות בכל התחום שבו  $v_{out} < -30$ .

א. להלן האות: (2)



ב. להלן האות:



$$v_{out}(t) = \frac{2}{RC} \int v_{in}(t) dt \quad \text{א. (3)}$$

$$v_{out}(t) = \begin{cases} 10 & \frac{\pi}{30}k < t < \frac{\pi}{30}k + t_1 \\ -10 & \frac{\pi}{30}k + t_2 < t < \frac{\pi}{30}k + t + \frac{T}{2} \\ & \frac{\pi}{30}k + t_2 + \frac{T}{2} < t < \frac{\pi}{30}k + T \\ & \frac{\pi}{30}k + t_1 < t < \frac{\pi}{30}k + t_2 \quad \text{ב. i.} \\ & \frac{\pi}{30}k + t_1 + \frac{T}{2} < t < \frac{\pi}{30}k + t_2 + \frac{T}{2} \end{cases}$$

$$\frac{dv_{out}}{dt} + \frac{1}{RC}v_{out} = \frac{2}{RC}v_{in} \quad \text{ג.}$$

$$\frac{v_{cc} - v_0}{R_2} \leq i_0 \leq \frac{v_{cc} + v_0}{R_2} \quad \text{ב.} \quad \frac{dv_{out}}{dt} + \frac{R}{L}v_{out} = -\frac{R_2}{R_1} \frac{dv_{in}}{dt} \quad \text{א. (4)}$$

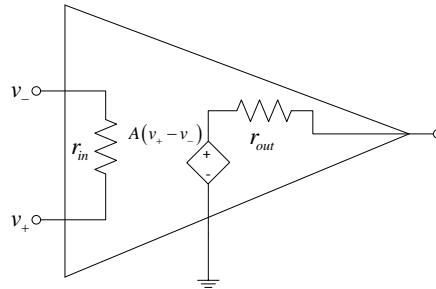
$$t_0 = \frac{i_0 - \frac{v_0}{R_2}}{\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{v_0}{L}} \quad \text{ג. נדרוש } |i_0 R_2| \leq v_{cc} \text{ וגם } |v_{out}(t_0)| \leq v_{cc} \text{ כאשר}$$

$$v_{out}(t) = \left( i_0 R_2 + \frac{R_2^2 v_0}{R_1 L} t \right) e^{-\frac{R_2}{L} t} u(t) \quad \text{ד.}$$

## סרטון – מגברי שרת מעשיים:

הגדרות כלליות:

סכמה של מגבר שרת מעשי:



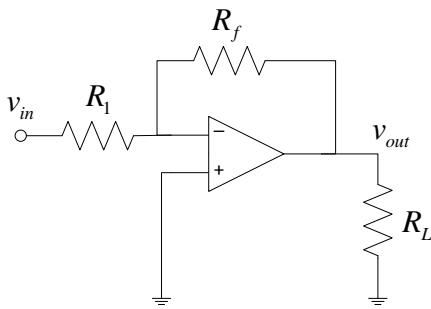
תכונות של מגבר מעשי:

- הגבר סופי בחוג פתוח:  $A_{OL} < \infty$
- התנגדות כניסה סופית:  $r_{in} < \infty$
- התנגדות מוצא אינה אפסית:  $r_{out} > 0\Omega$

הערות כלליות:

- כללי הזהב לא תקפים בנייתוח מעגלים עם מגברי שרת מעשיים.
- ניתן לחבר משוואת זרמים במוצא המגבר היות וקיים הנגד  $r_{out}$ .

תרגילים:



1) לפניך המעגל הבא ובו מגבר שרת מעשי (לא אידיאלי)

שבו  $r_{in} < \infty$ ,  $r_{out} > 0$ ,  $A < \infty$

כל ערכי הרכיבים נתונים.

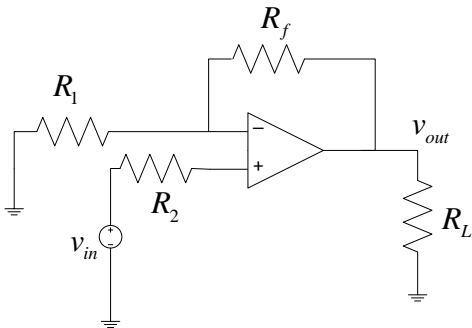
מצא את הגבר המעגל בחוג סגור,

התנגדות הכניסה שרואה מקור המתח,

והתנגדות המוצא שרואה העומס.

הראה כי תחת הנחות:  $r_{in} \rightarrow \infty$ ,  $r_{out} \rightarrow 0$ ,  $A \rightarrow \infty$

תוצאות הביטויים שואפים לאלו של מגבר אידיאלי.



2) לפניך המעגל הבא המורכב ממגבר שרת מעשי

שבו:  $r_{in} < \infty$ ,  $r_{out} > 0$ ,  $A < \infty$

כל הנגדים נתונים.

א. מצא ביטוי להגבר המעגל בחוג סגור.

(כתוב כתלות בערכי הרכיבים).

ב. לפניך הנתונים הבאים:

$r_{in} = 440k\Omega$ ,  $r_{out} = 5k\Omega$ ,  $A = 10^5$

$R_1 = 8k\Omega$ ,  $R_2 = 160k\Omega$ ,  $R_f = 240k\Omega$ ,  $R_L = 30k\Omega$

מכניסים:  $v_{in} = 1V$ . ענה על הסעיפים הבאים:

i. מצא את המתחים בכניסות המגבר.

ii. מצא את הזרם העובר בכניסת המגבר.

iii. האם התוצאות שקיבלת מתאימות להנחות של כללי הזהב במגבר

אידיאלי? נמק.

**תשובות סופיות:**

$$\cdot A_{CL} = \frac{G_1(G_f - AG_{out})}{(G_L + G_{out} + G_f)(G_1 + G_{in} + G_f) - G_f(G_f - AG_{out})} \quad \text{1) הגבר בחוג סוג:}$$

$$\cdot R_{in} = \frac{(1 + R_1(G_{in} + G_f))(G_L + G_{out} + G_f) - G_f R_1(G_1 - AG_{out})}{G_{in}(G_L + G_{out} + G_f) + G_f(G_L + G_f - G_1 + G_{out}(A+1))} \quad \text{: התנגדות כניסה:}$$

$$\cdot R_{out} = \left[ \frac{G_f(1 + AG_{out}(R_1 \parallel r_{in}))}{1 + G_f(R_1 \parallel r_{in})} + G_{out} \right]^{-1} \quad \text{: התנגדות מוצא:}$$

$$A_{CL} = - \frac{\frac{1}{R_2 + r_{in}} \left( \frac{1}{R_f} - \frac{A r_{in}}{r_{out}(R_2 + r_{in})} \right) + \frac{A \cdot r_{in}}{r_{out}(R_2 + r_{in})} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_f} + \frac{1}{R_2 + r_{in}} \right)}{\frac{1}{R_f} \left( \frac{1}{R_f} - \frac{A \cdot r_{in}}{r_{out}(R_2 + r_{in})} \right) - \left( \frac{1}{R_L} + \frac{1}{R_f} + \frac{1}{r_{out}} \right) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_f} + \frac{1}{R_2 + r_{in}} \right)} \quad \text{2) א.}$$

ב. i.  $v_+ = 999.83mv$  ,  $v_- = 999.363mv$

ב. ii.  $i_{in} = 1.0615nA$

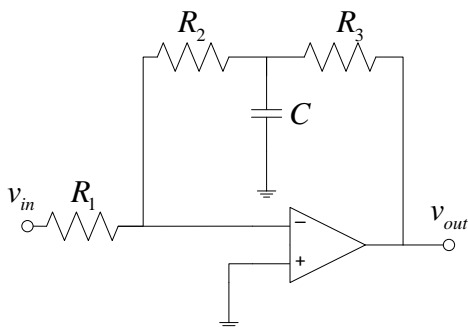
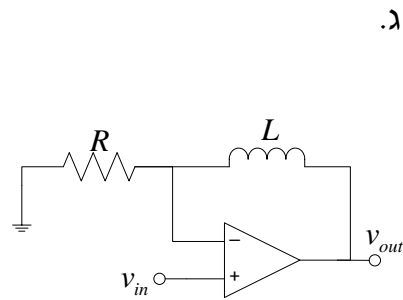
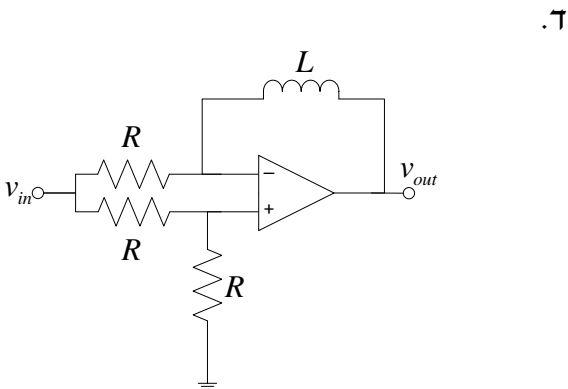
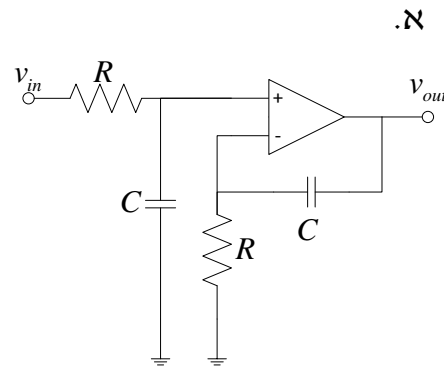
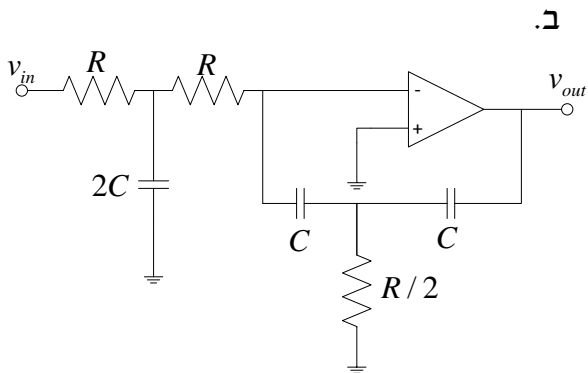
ב. iii. כן.

## סרטון – ניתוח מעגלי הגבר במישור התדר:

### תרגילים:

(1) לפניך המעגלים הבאים.

מצא את פונקציית התמסורת  $A(s) = \frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)}$  והסבר מהי פעולת המעגל.



(2) לפניך המעגל הבא ובו מגבר שרת אידיאלי.

כל ערכי הרכיבים נתונים.

א. מצא את פונקציית התמסורת

של המעגל במישור התדר.

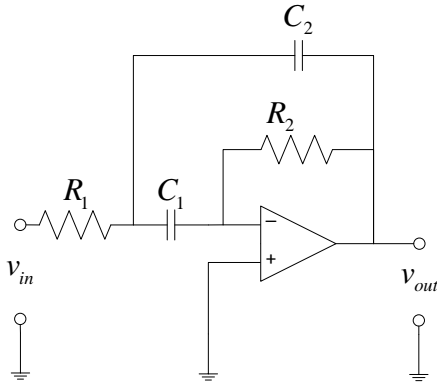
ב. סרטט גרפים של בודה של

אמפליטודה ופאזה.

ג. מכניסים:  $v_{in}(t) = v_0 \frac{R_1}{R_2 + R_3} te^{-\frac{t}{R_2 \parallel R_3 C}} u(t)$  [v]

ידוע כי המגבר נמצא בקצה תחום הליניאריות שלו.

בטא באמצעות נתוני השאלה (כולל  $v_0$ ) את  $v_{CC}$ .

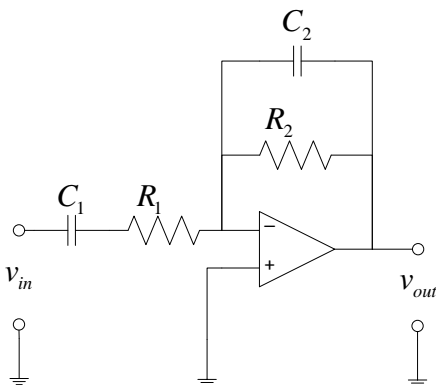


3) במעגל שלפניך נתון מגבר שרת אידיאלי.

ערכי הרכיבים הם :

$$C_1 = 2nF, C_2 = 8nF, R_1 = 8k\Omega, R_2 = 62.5k\Omega$$

צייר מפת קטבים ואפסים של פונקציית התמסורת של המעגל.



4) במעגל שלפניך ישנו מגבר שרת אידיאלי.

הנח כי אין אנרגיה אגורה בקבלים

וכי ערכי הרכיבים הם :

$$C_1 = 50nF, C_2 = 10nF, R_1 = 8k\Omega, R_2 = 20k\Omega$$

מתחי האספקה של המגבר הם :  $v_{CC} = \pm 5V$

(אינם מופיעים באיור).

$$v_{in}(t) = 2 \cdot 10^5 tu(t) [V]$$

ענה על השאלות הבאות :

א. מצא את  $H(s) = \frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)}$  וצייר את סרטוטי בודה שלו.

קבע באיזה סוג מסנן מדובר.

ב. מצא את  $v_{out}(t)$  בכל מקרה :

i. עבור אות הכניסה הנתון.

$$v_{in}(t) = \sqrt{10} \cos(5000t)u(t) [V]$$

ג. מצא כמה זמן יקח למגבר להגיע לרוויה.

ד. הנח  $v_{in}(t) = m \cdot tu(t) [V]$  ומצא את קצב הגדילה

של אות הכניסה עבורו המגבר לא יכנס לרוויה.



**תשובות סופיות:**

א.  $A(s) = \frac{1}{RC \cdot s}$  אינטגרטור. (1)

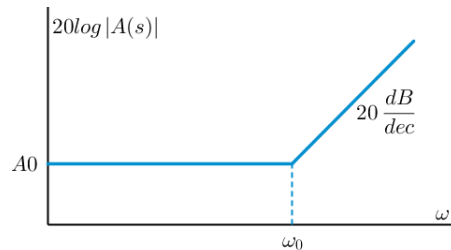
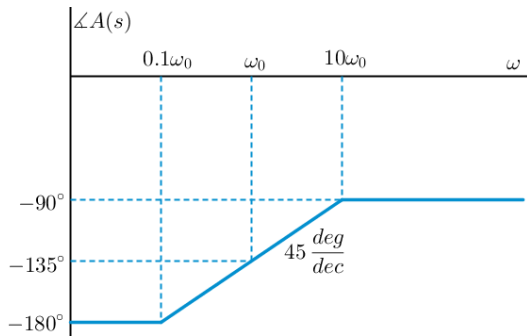
ב.  $A(s) = -\frac{1}{(RC \cdot s)^2}$  אינטגרטור כפול והופך מופע.

ג.  $A(s) = 1 + \frac{L}{R} s$  גזירה של מתח הכניסה בתוספת מתח הכניסה עצמו.

ד.  $A(s) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \frac{L}{R} s$  הפרש בין מתח הכניסה לנגזרתו.

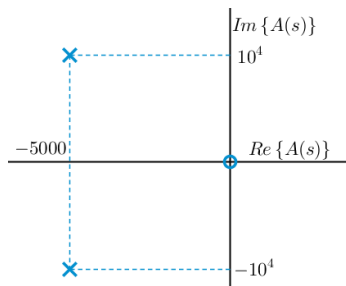
א.  $A(s) = -\frac{R_2 + R_3}{R_1} (1 + (R_2 \parallel R_3)Cs)$  (2)

ב. להלן סרטוטי בודה:



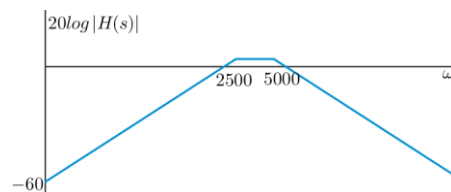
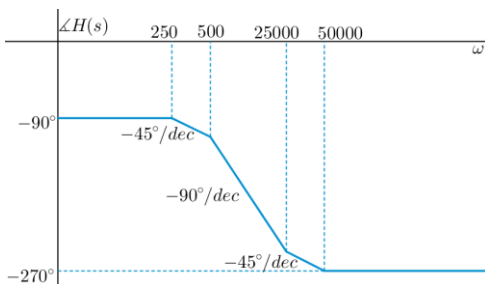
כאשר:  $A_0 = 20 \log \frac{R_2 + R_3}{R_1}$ ,  $\omega_0 = \frac{1}{(R_2 \parallel R_3)C}$  . ג.  $v_{CC} = v_0 [(R_2 \parallel R_3)C]^3$

3 להלן מפת קטבים ואפסים:



א.  $H(s) = \frac{10^5 s}{8(s + 2500)(s + 5000)}$  (4)

להלן סרטוטי בודה:



$$v_{out}(t) = -20(1 - 2e^{-2500t} + e^{-5000t})u(t) \quad \text{ב. i.}$$

$$v_{out}(t) = -\frac{10^{5.5}}{8} \left( \frac{3}{25000} \cos(5000t) + \frac{1}{25000} \sin(5000t) + \frac{1}{12500} e^{-2500t} + \frac{1}{5000} e^{-5000t} \right) u(t) \quad \text{ב. ii.}$$

$$t = 277.26 \mu s \quad \text{ג.}$$

$$.m = 5000 \frac{v}{\text{sec}} \quad \text{ד.}$$