

# מעבדה במבוא למעגלים דוח 2

Introduction to Linux, spice, and Virtuoso

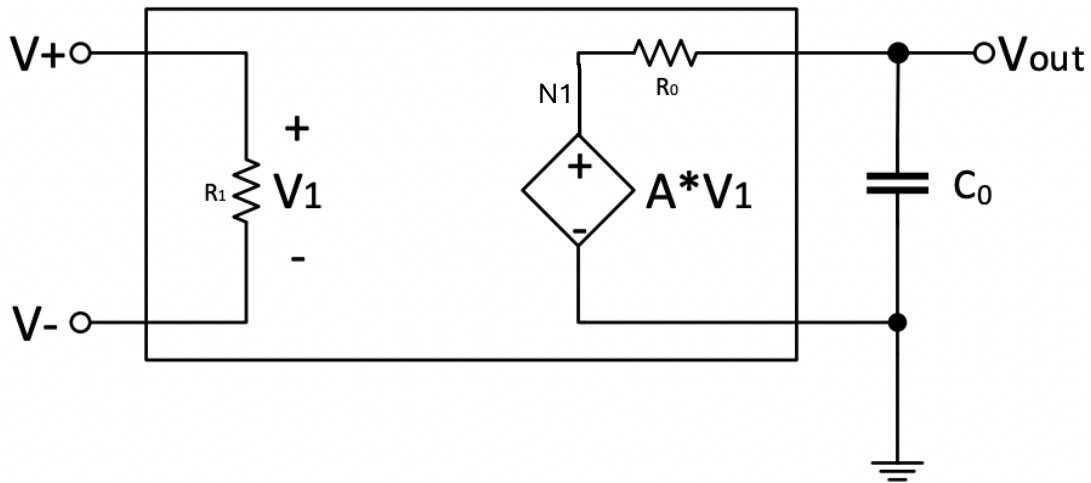
שמות המגישים + תז:  
אורי בריימוק 314992447  
הדס רם 214068843

תאריך הגשה:  
10.04.2025

## LAB #2 : Spice netlist

1. Build an opamp subcircuit. Show a printscreen of your code including a part of the screen that includes your username. Do this for each part of this assignment.

תיכנון מגבר שרת:



```

opamp.cir x  InvertingAmp.cir
data > home > ramhada > Desktop > DigitalLab > Lab2 > opamp.cir
1  ***Ori Braymok and Hadas Ram***
2
3
4  ***OPAMP***
5
6  **NETLIST**
7  *sub Circuit*
8  .SUBCKT OPAMP V+ V- Vout
9
10 **SETTINGS**
11 simulator lang=spice
12
13 **Voltage Source**
14 E1 N1 0 V+ V- G*200k
15
16 **PARAMETERS**
17 .PARAM A = 200k
18 .PARAM G = 10
19 .PARAM R0 = 75/G
20 .PARAM R1 = A*G
21 .PARAM C0 = G*10f
22
23 **Instances**
24 R1 V+ V- G*A
25 R0 N1 Vout 75/G
26 C0 Vout 0 G*10f
27
28 .ENDS
29
30

```

הסימולציה מתבצעת באמצעות שפת SPICE שהיא שפה ייעודית לתיאור וניתוח מעגלים חשמליים, בעזרת פקודה simulator lang=spice.

הגדרנו מעגל משנה (subcircuit) עבור מגבר שרת באמצעות הפקודה SUBCKT, ציינו את הכניסות ויציאות של המגבר, הכניסה (V+) הכניסה (V-), והיציאה (Vout) בהתאם לסכמת החיבור של המעגל. פרמטרים:

השתמשנו בפקודת PARAM. כדי להגדיר פרמטרים שיקלו על תיאור המעגל:

- $A=200,000$  - הגבר המגבר.
- $G=10$  פרמטר עזר לחישובים (חיבור שני הספרות האחרונות בתעודות הזהות שלנו).
- $R_o=75/G$  התנגדות מוצא של המגבר.
- $C_0=10G$  [fF] קיבול מוצא קטן מאוד.
- $R_1=A \cdot G$  נגד נוסף המחושב מהגבר ו-G.

מקורות מתח:

השתמשנו באות השמורה E כדי להגדיר מקור מתח תלוי ליניארי, שערכו מוכפל פי A בהפרש המתחים (V1) שנמדד בין שתי נקודות V+ ו V-). חיברנו את המקור לנקודות לפי הסכמה – בין N1 ל-0.

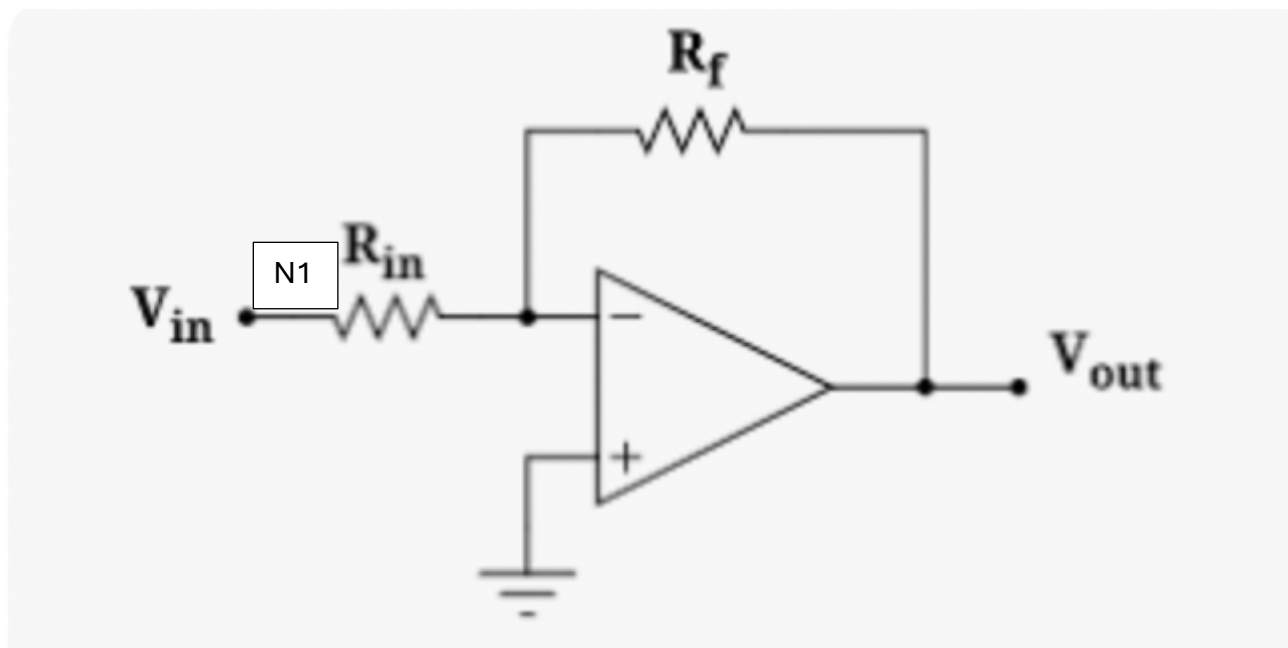
רכיבים בסיסיים:

המעגל כולל שני נגדים וקבל:

- נגד R0 המחובר בטור למתח הכניסה.
- נגד R1 המחובר בטור למקור התלוי.
- קבל C0 המחובר ביציאה של המעגל.

2. Using the opamp, build an Inverting Amplifier with resistance values of your choosing. Run DC analysis where  $V_{in}$  ranges from 0V to G [V], and make sure the output is what you expect. Explain the design process and the results, and show a plot of  $V_{out}$  vs.  $V_{in}$ . You can use Excel/MATLAB/Python on your computer to generate the plot. **Write your names in the middle of the plot.**

תיכנונו מגבר מהפך:



```

opamp.cir  InvertingAmp.cir X
data > home > ramhada > Desktop > DigitalLab > Lab2 > InvertingAmp.cir
1  ***Ori Braymok and Hadas Ram***
2
3
4  ***Inverting Amplifier***
5
6  **SETTINGS**
7  simulator lang=spice
8  .INCLUDE opamp.cir
9
10 **NETLIST**
11 *Voltage Source*
12 VIN N1 0 DC 0
13
14 **Instances**
15 Xopamp 0 V- VOUT opamp
16 RIN N1 V- 1k
17 RF V- VOUT 10k
18
19 **ANALYSIS**
20 .DC VIN 0 10 1
21
22 **MEASUREMENT**
23 .PRINT DC V(VOUT)
24
25 .END
26
27

```

$$\text{Gain}(A_v) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{-R_f}{R_{in}} = \frac{-10k}{1k} = -10k$$

הסימולציה מתבצעת בשפת SPICE. בעזרת הפקודה INCLUDE. צירפנו את המעגל המשנה של מגבר השרת שנבנה בשאלה 1, כדי שנוכל להשתמש בו כחלק מהמעגל שלנו – מגבר מהפך (Inverter Amplifier). הגדרנו מקור מתח DC שערכו ההתחלתי הוא,  $V_{in} = 0$  וחיברנו אותו בין הצומת N1 - (0), בהתאם לסכמת המעגל.

את מגבר השרת הכללנו במעגל בעזרת האות השמורה X, תוך קביעת שלושת הטרימינלים שלו – חיבור לאדמה (0), לכניסה (V-) וליציאה (Vout) כפי שמופיע בסכמה. בנוסף, הוספנו שני נגדים:

- הנגד הראשון  $R_{in}$ , בעל ערך של  $1[k\Omega]$ , מחובר בטור למתח הכניסה.
  - הנגד השני  $R_f$ , שערכו  $10[k\Omega]$ , מחובר במשוב בין היציאה לכניסה ההפוכה של המגבר.
- באמצעות הפקודה DC. הגדרנו הרצה של סימולציית DC. במהלך הסימולציה, מתח המקור משתנה מערך התחלתי של  $0[V]$  עד לערך סופי של  $G = 10[V]$ , בקפיצות של  $1[V]$  בכל שלב. לבסוף, השתמשנו בפקודת PRINT DC. כדי למדוד ולהציג את ערך המתח ביציאה – Vout – בכל שלב בסימולציה.

הצגנו את תוצאות המדידה בעזרת השורה :less InvertingAmp.print

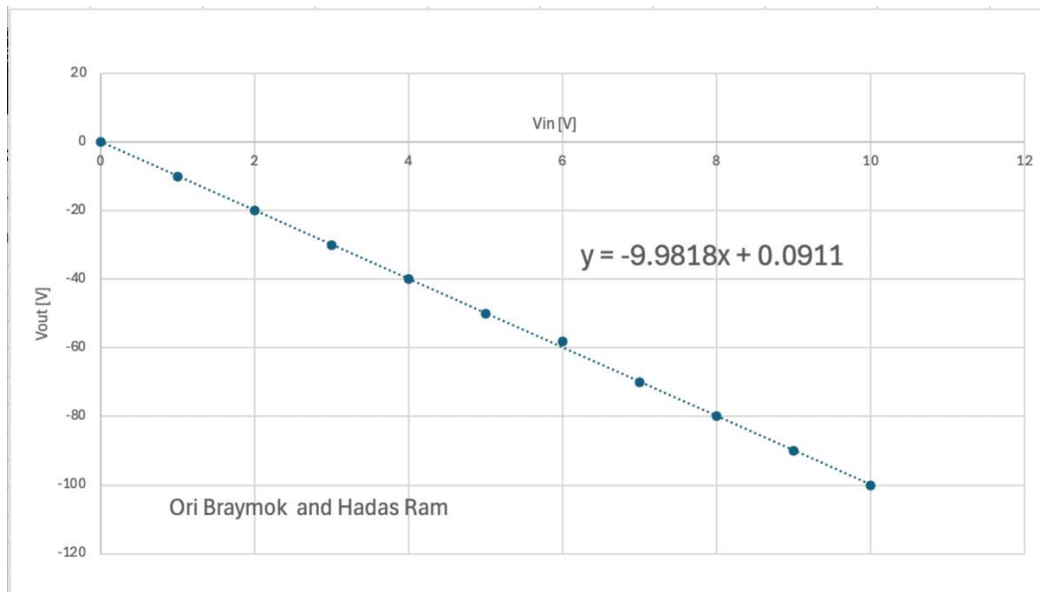
```

ramhada@ip-10-70-147-120:~/Desktop/DigitalLab/Lab2
File Edit View Search Terminal Help

* ***Ori Braymok and Hadas Ram***
***** DC Analysis ( dcrun1 )  tnom= 27.0 temp= 27.0
*****
X
      dc      v(VOUT)
      0         0
      1     -9.99994
      2    -19.9999
      3    -29.9998
      4    -39.9998
      5    -49.9997
      6    -59.9997
      7    -69.9996
      8    -79.9996
      9    -89.9995
     10   -99.9994
y
(END)

```

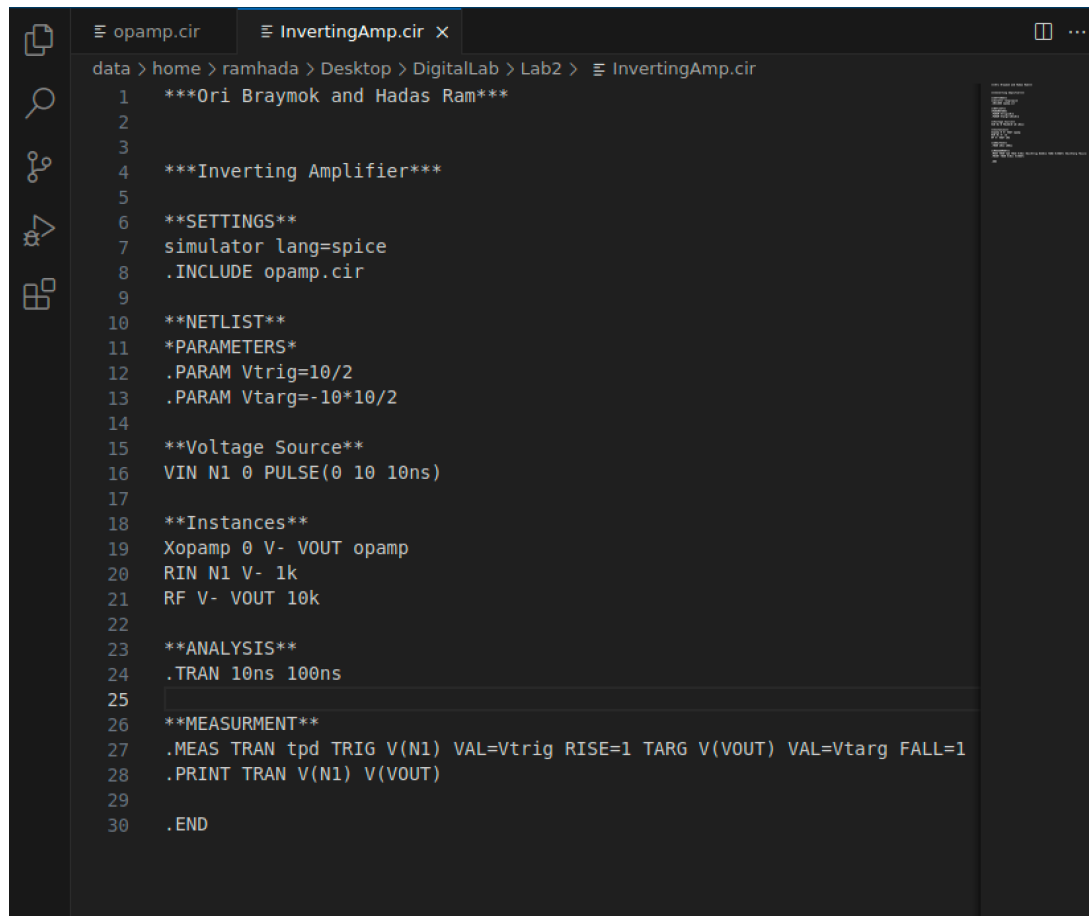
ניתן לראות כי מתח המוצא מוגבר פי 10- ממתח הכניסה.  
העברנו את התוצאות לאקסל ושירטטנו את מתח היציאה כפונקציה של מתח הכניסה.



הגרף מתואר ע"י המשוואה:  $V_{out} = -10 \cdot V_{in}$ .

ביצענו התאמה לינארית וקיבלנו ששיפוע הגרף הוא -9.9818, ערך מאוד קרוב ל-10, המגבר-מהפך שתיכנונו מגביר את מתח הכניסה פי ערך שקרוב ל-10- כדרוש.

3. Run Transient analysis on the inverter and plot the step response for an input that goes from 0V to G [V]. What is the propagation delay of the amplifier (the delay between 50% change at the input to 50% change at the output)? Explain the results. **Write your names in the middle of the plot.**



```

data > home > ramhada > Desktop > DigitalLab > Lab2 > InvertingAmp.cir
1  ***Ori Braymok and Hadas Ram***
2
3
4  ***Inverting Amplifier***
5
6  **SETTINGS**
7  simulator lang=spice
8  .INCLUDE opamp.cir
9
10 **NETLIST**
11 *PARAMETERS*
12 .PARAM Vtrig=10/2
13 .PARAM Vtarg=-10*10/2
14
15 **Voltage Source**
16 VIN N1 0 PULSE(0 10 10ns)
17
18 **Instances**
19 Xopamp 0 V- VOUT opamp
20 RIN N1 V- 1k
21 RF V- VOUT 10k
22
23 **ANALYSIS**
24 .TRAN 10ns 100ns
25
26 **MEASUREMENT**
27 .MEAS TRAN tpd TRIG V(N1) VAL=Vtrig RISE=1 TARG V(VOUT) VAL=Vtarg FALL=1
28 .PRINT TRAN V(N1) V(VOUT)
29
30 .END
  
```

הגדרנו את הסימולציה בשפת SPICE. באמצעות פקודת INCLUDE כללנו את תיאור מעגל המשנה של מגבר השרת שהגדרנו בשאלה 1, כדי שנוכל להשתמש בו בהגדרת מעגל המהפך.

הגדרנו מקור מתח מדרגה, אשר עולה מ-0 ל-10[V] אחרי 10ns. קבענו את הטרמינלים של מקור המתח כך שהם מתחברים לפי הסכמה, בטרמינל N1 ובקרקע (0).

חיברנו את מגבר השרת בעזרת האות השמורה X ושמו את הטרמינלים של המגבר לפי הסכמה: טרמינל 0 (קרקע), V- (כניסת המתח השלילי של המגבר), ו Vout- (המתח היוצא).  
הגדרנו שני נגדים  $R_{in}=1k\Omega$  ו  $R_f=10k\Omega$  - הגדרנו את החיבור שלהם לפי הסכמה – אחד בטור עם מקור המתח והשני במשוב.

הגדרנו סימולציית TRAN. (סימולציה בזמן) באורך של 100ns, עם צעדים בגודל של 10ns והסימולציה מתחילה בזמן אפס.

בעזרת הפקודה PRINT TRAN. הגדרנו מדידה של מתח המוצא Vout ומתח הכניסה V(N1) במהלך סימולציית TRAN.

באמצעות הפקודה MEAS, ביצענו מדידה של זמן ההתפשטות  $t_{pd}$ , שהוא ההפרש בין הזמן שבו מתח המוצא מגיע ל-50% ממתחו הסופי בזמן ירידה (FALL=1) לבין הזמן שבו מתח הכניסה מגיע ל-50% ממתחו הסופי בזמן עלייה (RISE=1) במצב היציב. הנוסחא לחישוב זמן ההתפשטות:

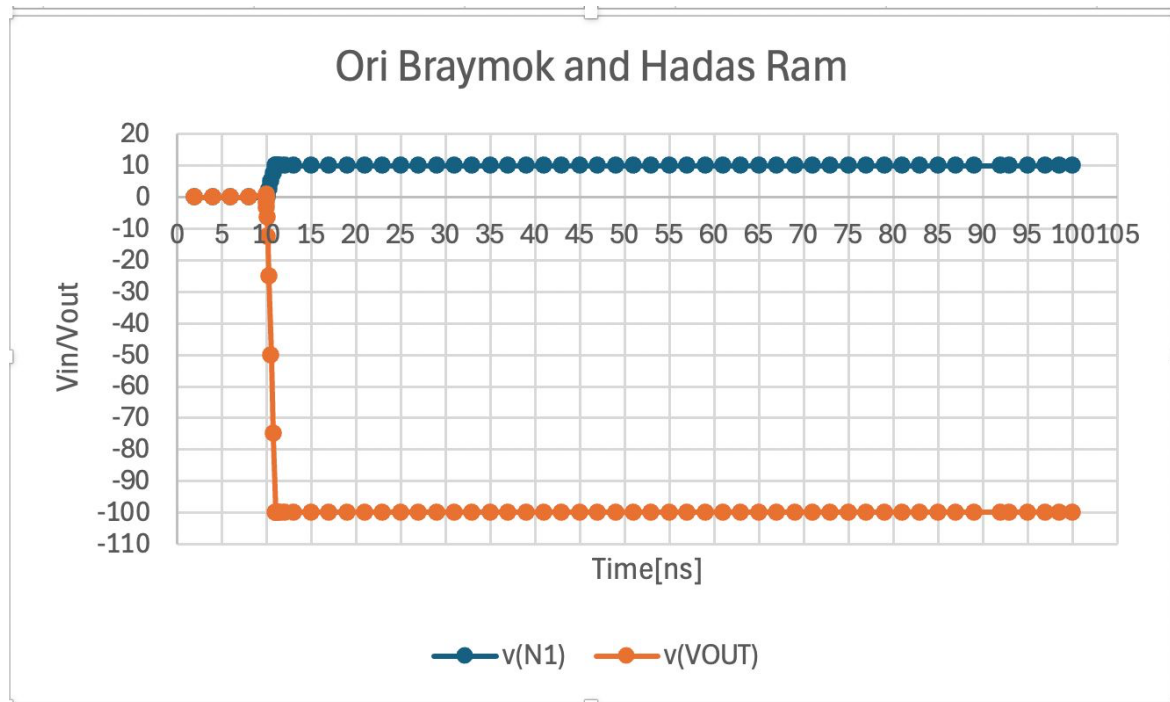
$$t_{pd} = t(V_{out}@50\%) - t(V_{in}@50\%)$$

להלן תוצאות Vout כתלות בVin:

הצגנו אותם באמצעות הפקודה gvim InvertingAmp.print.

InvertingAmp.print (~/Desktop/DigitalLab/Lab2) - GVIM				InvertingAmp.print (~/Desktop/DigitalLab/Lab2) - GVIM			
File Edit Tools Syntax Buffers Window Help				File Edit Tools Syntax Buffers Window Help			
* ***Ori Braymok and Hadas Ram***				10.2507 n 2.50686 -25.0685			
***** Transient Analysis ( timeSweep ) tnom= 27.0 temp= 27.0				10.5003 n 5.0025 -50.0247			
*****				10.7501 n 7.50125 -75.0121			
X				11 n 10 -99.9994			
time	v(N1)	v(VOUT)		11.0327 n 10 -99.9994			
0	0	0		11.0963 n 10 -99.9994			
2 n	0	0		11.158 n 10 -99.9994			
4 n	0	0		11.2814 n 10 -99.9994			
6 n	0	0		11.5282 n 10 -99.9994			
8 n	0	0		12.0219 n 10 -99.9994			
10 n	0	0		13.0091 n 10 -99.9994			
10.0003 n	3.49583 m	-34.9577 m		14.9836 n 10 -99.9994			
10.0006 n	5.94291 m	-59.4284 m		16.9836 n 10 -99.9994			
10.0011 n	10.8371 m	-108.37 m		18.9836 n 10 -99.9994			
10.0021 n	20.6254 m	-206.252 m		20.9836 n 10 -99.9994			
10.004 n	40.202 m	-402.018 m		22.9836 n 10 -99.9994			
10.0079 n	79.3553 m	-793.549 m		24.9836 n 10 -99.9994			
10.0158 n	157.662 m	-1.57661		26.9836 n 10 -99.9994			
10.0314 n	314.275 m	-3.14273		28.9836 n 10 -99.9994			
10.0628 n	627.502 m	-6.27498		30.9836 n 10 -99.9994			
10.1254 n	1.25395	-12.5395		32.9836 n 10 -99.9994			
10.2507 n	2.50686	-25.0685		34.9836 n 10 -99.9994			
10.5003 n	5.0025	-50.0247		36.9836 n 10 -99.9994			
18,1 Top				39,1 38%			
InvertingAmp.print (~/Desktop/DigitalLab/Lab2) - GVIM				InvertingAmp.print (~/Desktop/DigitalLab/Lab2) - GVIM			
File Edit Tools Syntax Buffers Window Help				File Edit Tools Syntax Buffers Window Help			
34.9836 n	10	-99.9994		58.9836 n	10	-99.9994	
36.9836 n	10	-99.9994		60.9836 n	10	-99.9994	
38.9836 n	10	-99.9994		62.9836 n	10	-99.9994	
40.9836 n	10	-99.9994		64.9836 n	10	-99.9994	
42.9836 n	10	-99.9994		66.9836 n	10	-99.9994	
44.9836 n	10	-99.9994		68.9836 n	10	-99.9994	
46.9836 n	10	-99.9994		70.9836 n	10	-99.9994	
48.9836 n	10	-99.9994		72.9836 n	10	-99.9994	
50.9836 n	10	-99.9994		74.9836 n	10	-99.9994	
52.9836 n	10	-99.9994		76.9836 n	10	-99.9994	
54.9836 n	10	-99.9994		78.9836 n	10	-99.9994	
56.9836 n	10	-99.9994		80.9836 n	10	-99.9994	
58.9836 n	10	-99.9994		82.9836 n	10	-99.9994	
60.9836 n	10	-99.9994		84.9836 n	10	-99.9994	
62.9836 n	10	-99.9994		86.9836 n	10	-99.9994	
64.9836 n	10	-99.9994		88.9836 n	10	-99.9994	
66.9836 n	10	-99.9994		90.9836 n	10	-99.9994	
68.9836 n	10	-99.9994		92.9836 n	10	-99.9994	
70.9836 n	10	-99.9994		94.9836 n	10	-99.9994	
72.9836 n	10	-99.9994		96.9836 n	10	-99.9994	
74.9836 n	10	-99.9994		98.4918 n	10	-99.9994	
76.9836 n	10	-99.9994		100 n	10	-99.9994	
78.9836 n	10	-99.9994					
60,1 77%				76,1 Bot			

העברנו את התוצאות לאקסל ושרטטנו את מתח הכניסה והמוצא כפונקציה של הזמן:



הגרף מציג את תופעת המעבר במגבר-מהפך מעשי. מתח הכניסה שווה לאפס עד 10ns, ולכן גם מתח המוצא נשאר אפס. לאחר 10ns מתח המוצא אמור לעלות בקפיצת מדרגה באופן תיאורטי, אך במציאות הוא עולה בצורה לינארית עד שמגיע ל[10V]. בהתאם לפעולת המגבר-מהפך, העלייה במתח הכניסה גורמת לירידה במתח המוצא. המגבר מהפך לוקח את מתח הכניסה ומכפיל אותו ב (-10).



```

ramhada@ip-10-70-147-120:~/Desktop/DigitalLab/Lab2
File Edit View Search Terminal Help
Exported variables from results directory: ././InvertingAmp.raw/

date           : 9:27:07 AM, Wed Apr 9, 2025
design          : ***Inverting Amplifier***
simulator      : spectre
version        : 23.1.0.594.isr12

Measurement Name : timeSweep
Analysis Type    : tran
tpd              = 2.75744e-15

~
~
~
~
~
~
~
(END)

```

הצגנו את המדידה של  $t_{pd}$ , זמן ההתפשטות בעזרת הפקודה הבאה בטרמינל:

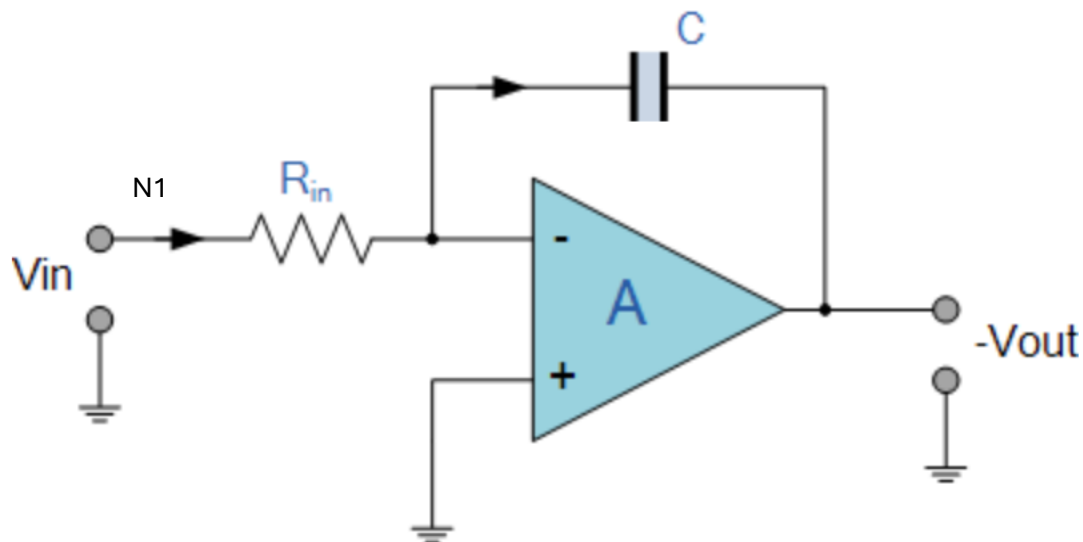
gvim InvertingAmp.measure

הזמן המוצג בSPICE הוא בס nsec ולכן  $t_{pd} = 2.75744 \cdot 10^{-15}$

השהייה אמנם קטנה ולא נראית בגרף, אך במערכת גדולה כשזה מצטבר הוא עלול להפוך למשמעותי יותר.

4. Build an Inverting Integrator. Run an AC analysis and plot the results. What kind of filter is it? Explain. **Write your names in the middle of the plot**

תכנון אינטגרטור מהפך:



```

Restricted Mode is intended for safe code browsing. Trust this window to enable all features. Manage Learn More
opamp.cir InvertingAmp.cir Integrator.cir
data > home > ramhada > Desktop > DigitalLab > Lab2 > Integrator.cir
1  ***Ori Braymok and Hadas Ram***
2
3
4  ***Inverting Intergrator***
5
6  **SETTINGS**
7  simulator lang=spice
8  .INCLUDE opamp.cir
9
10 **NETLIST**
11 *PARAMETERS*
12 .PARAM G=10
13
14 *Voltage Source*
15 VIN N1 0 AC 1 SIN(0 1 1MEG)
16
17 **Instances**
18 Xopamp 0 V- VOUT opamp
19 RIN N1 V- 1k
20 CF V- VOUT 1u
21
22 **ANALYSIS**
23 .AC DEC 10 1 100MEG
24
25 **MEASUREMENT**
26 .PRINT AC V(VOUT)
27
28 .END
29
30

```

$$V_{out} = -\frac{1}{j\omega RC} V_{in}$$

הגדרנו את הסימולציה כך שהיא מתבצעת בשפת SPICE. באמצעות הפקודה INCLUDE כללנו את תיאור מעגל המשנה של מגבר השרת שהגדרנו בשאלה 1, על מנת שנוכל להשתמש בו בהגדרת המעגל של האינטגרטור.

הגדרנו מקור מתח חליפין עם מתח קלט  $V_{in} = 1[V]$  שמיוצג כגל סינוס בתדר של  $1[MHz]$ , עם אפס הזזה ואמפליטודה של  $1[V]$ , קבענו את הטרמינלים של מקור המתח כך שהם מתחברים לפי הסכמה N1 ובקרקע  $0[V]$ .

לאחר מכן, חיברנו את מגבר השרת בעזרת האות השמורה X ופרטנו את הטרמינלים שלו לפי הסכמה: טרמינל 0 (קרקע) V- (כניסת המתח השלילי של המגבר), ו Vout (המתח היוצא מהמעגל). הגדרנו נגד  $R_{in}=1[k\Omega]$  וקבל  $C_f=1[\mu F]$ , הנגד מחובר בטור עם מקור המתח, והקבל נמצא במשולב.

לצורך ביצוע הסימולציה, השתמשנו בפקודה AC, כך שהסימולציה מתבצעת בטווח התדרים  $1[Hz]$  עד  $100[MHz]$ , כאשר התדרים משתנים בקפיצות של  $10\text{ dB/dec}$ .

בעזרת פקודת PRINT AC ביצענו מדידה של מתח המוצא Vout במהלך סימולציית ה-AC.

בעזרת פקודת gvim Integrator.print ביצענו טרמינל קיבלנו את הערכים הבאים:

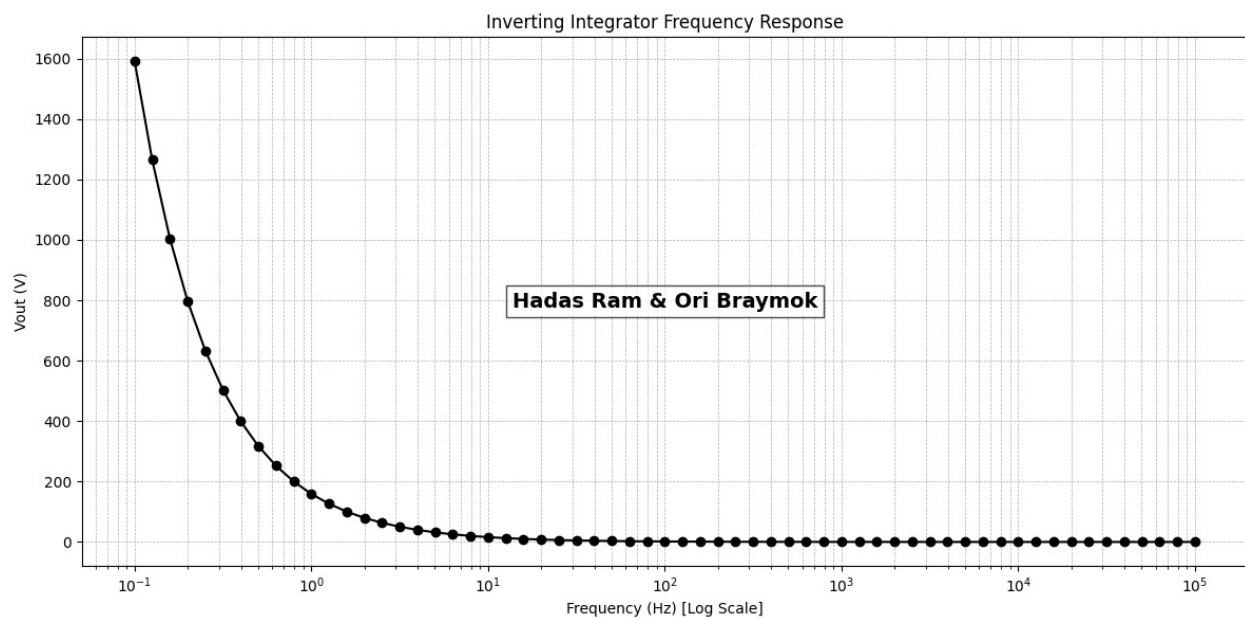
Integrator.print (~\Desktop\DigitalLab\Lab2) - GVIM		Integrator.print (~\Desktop\DigitalLab\Lab2) - GVIM	
<pre> ***Ori Braymok and Hadas Ram*** ***** AC Analysis ( frequencySweep ) tnom= 27.0 temp= 27.0 ***** X freq      v(VOUT) 100 m     1.59155 k 125.893 m 1.26421 k 158.489 m 1.0042 k 199.526 m 797.664 251.189 m 633.607 316.228 m 503.292 398.107 m 399.779 501.187 m 317.556 630.957 m 252.243 794.328 m 200.364 1 k       159.155 1.25893 k 126.421 1.58489 k 100.42 1.99526 k 79.7664 2.51189 k 63.3607 3.16228 k 50.3292 3.98107 k 39.9779 5.01187 k 31.7556 </pre>		<pre> 3.98107 39.9779 5.01187 31.7556 6.30957 25.2243 7.94328 20.0364 10      15.9155 12.5893 12.6421 15.8489 10.042 19.9526 7.97664 25.1189 6.33607 31.6228 5.03292 39.8107 3.99779 50.1187 3.17556 63.0957 2.52243 79.4328 2.00364 100     1.59155 125.893 1.26421 158.489 1.0042 199.526 797.664 m 251.189 633.607 m 316.228 503.292 m 398.107 399.779 m 501.187 317.556 m 630.957 252.243 m </pre>	
<pre> 501.187 317.556 m 630.957 252.243 m 794.328 200.364 m 1 k      159.155 m 1.25893 k 126.421 m 1.58489 k 100.42 m 1.99526 k 79.7664 m 2.51189 k 63.3607 m 3.16228 k 50.3292 m 3.98107 k 39.9779 m 5.01187 k 31.7556 m 6.30957 k 25.2243 m 7.94328 k 20.0364 m 10 k     15.9155 m 12.5893 k 12.6421 m 15.8489 k 10.042 m 19.9526 k 7.97664 m 25.1189 k 6.33607 m 31.6228 k 5.03292 m 39.8107 k 3.99779 m 50.1187 k 3.17556 m 63.0957 k 2.52243 m 79.4328 k 2.00364 m </pre>		<pre> 63.0957 k 2.52243 m 79.4328 k 2.00364 m 100 k    1.59155 m 125.893 k 1.26421 m 158.489 k 1.0042 m 199.526 k 797.664 u 251.189 k 633.607 u 316.228 k 503.292 u 398.107 k 399.779 u 501.187 k 317.556 u 630.957 k 252.243 u 794.328 k 200.364 u 1 M      159.155 u 1.25893 M 126.421 u 1.58489 M 100.42 u 1.99526 M 79.7664 u 2.51189 M 63.3607 u 3.16228 M 50.3292 u 3.98107 M 39.9779 u 5.01187 M 31.7556 u 6.30957 M 25.2243 u 7.94328 M 20.0364 u 10 M     15.9155 u </pre>	
51,2 56%		72,2 85%	

Integrator.print (~\Desktop\DigitalLab\Lab2) - GVIM

3.98187 M	39.9779 u
5.01187 M	31.7556 u
6.30957 M	25.2243 u
7.94328 M	20.0364 u
10 M	15.9155 u
12.5893 M	12.6421 u
15.8489 M	10.0042 u
19.9526 M	7.97664 u
25.1189 M	6.33607 u
31.6228 M	5.03292 u
39.8187 M	3.99779 u
50.1187 M	3.17556 u
63.0957 M	2.52244 u
79.4328 M	2.00364 u
100 M	1.59155 u

87,2 Bot

בעזרת פייתון שרטטנו את מתח המוצא כפונקציה התדר:



הגרף של מתח המוצא כפונקציה של התדר מתאר התנהגות של מסנן מעביר נמוכים (LPF). ככל שהתדר של מתח המקור עולה, מתח המוצא יורד, וכאשר התדרים עוברים את ה-  $10[\text{Hz}]$ , מתח המוצא שואף לאפס. בתדרים גבוהים הקבל מתפקד כמו קצר (עכבה נמוכה), ולכן לא יכול עליו מתח, ומתח המוצא יהיה אפס ( $V_{out} = 0$ ). בתדרים נמוכים, הקבל מתפקד כמו נתק (עכבה גבוהה), ויופל עליו מתח, כך שמתח המוצא יהיה גדול ומזוהה עם מתח על הקבל. אם נסתכל על המתח בגרף, נראה שהוא יורד כמו  $1/\omega c$  כלומר ככל שהקיבול של הקבל גדול יותר, המתח בתדרים נמוכים יהיה נמוך יותר.