

מעבדה במאובאות למעגלים דוח 2

Introduction to Linux, spice, and Virtuoso

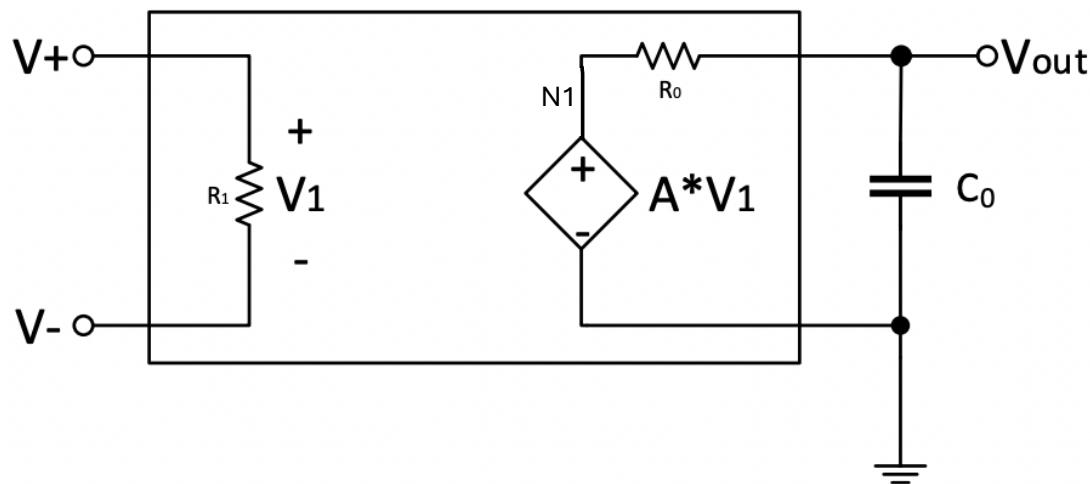
שמות המציגים + TZ:
אורן ברימוק 314992447
הדר רם 214068843

תאריך הגשה:
10.04.2025

LAB #2 : Spice netlist

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

תיכנו 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+) והיציאה (Vout) בהתאם לסקמת החיבור של המעגל.

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

- $A=200,000$ - המגבר.
- $G=10$ פרמטר עזר לחישובים (חיבור שני הספרות האחרונות בתעודות זהות שלנו).
- $Ro=75/G$ התנגדות מוצאה של המגבר.
- $C0=10G$ [fF] קיבול מוצא קטן מאוד.
- $R1=A\cdot G$ נגד נוסף המוחש מהמגבר ו- G .

מקורות מתח:

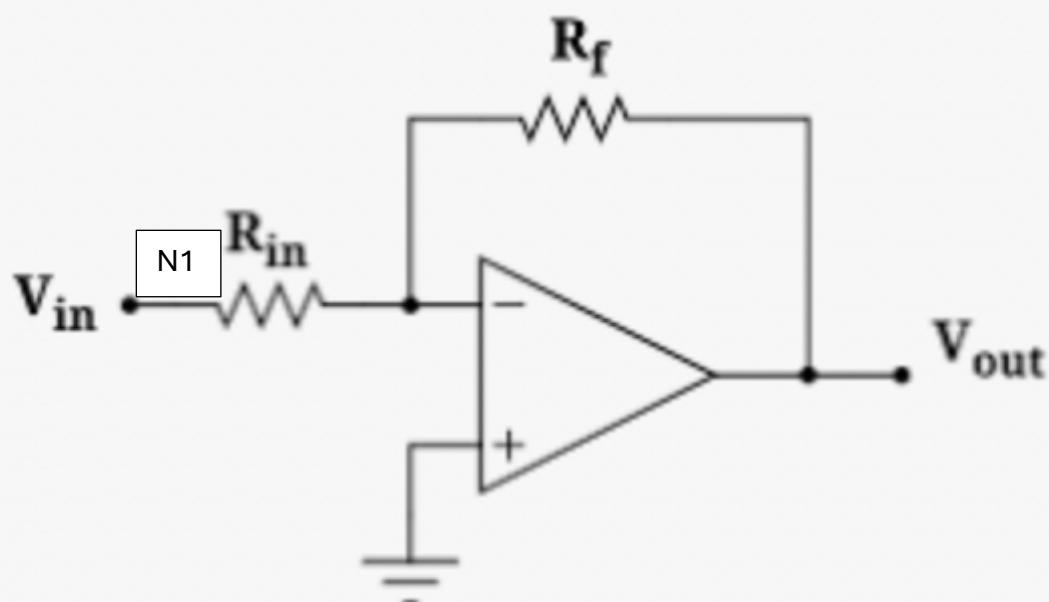
השתמשנו באוט השמורה E כדי להגדיר מקור מתח תלוי ליניארי, שערך מוכפל פי A בהפרש המתחים (V1 שנמדד בין שתי נקודות -V +V). חיבורנו את המקור לנקודות לפי הסכמה – בין N1 ל-0.

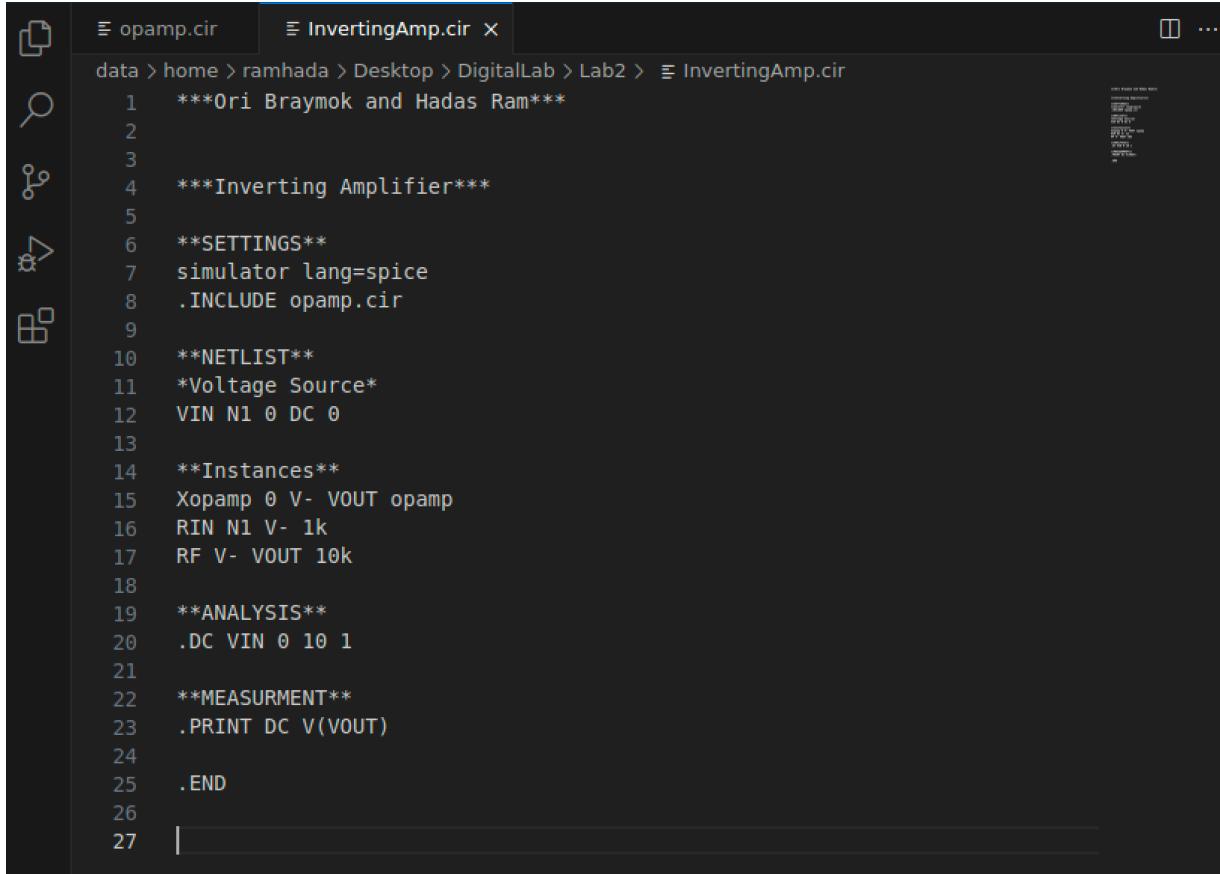
רכיבים בסיסיים:

- המעגל כולל שני נגדים וקובל:
- נגד $R0$ המחבר בתור למתח הכניסה.
 - נגד $R1$ המחבר בתור למקור התלוי.
 - קובל $C0$ המחבר ביציאה של המעגל.

- 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.**

תיכנו מגבר מהפרק:





```

opamp.cir InvertingAmp.cir
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 **MEASURMENT**
23 .PRINT DC V(VOUT)
24
25 .END
26
27

```

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

הסימולציה מתבצעת בשפת SPICE . בעזרת הפקודה INCLUDE. צירפנו את המודול המשנה של מגבר השרת שנבנה בשאלה 1, כדי שנוכל להשתמש בו כחלק מהמודול שלנו – מגבר מהפּר (Inverter Amplifier). הגדרנו מקור מתח DC שערכו ההתחלתי הוא, $V_{\text{in}} = 0$ וchipרנו אותו בין היצומת $N1$ ו- (0) , בהתאם לסדרת המודול.

את מגבר השרת הכללו במודול בעזרת האות השמורה X , תוך קביעת שלושת הטרמינלים שלו – חיבור לאדמה (0) , לכניסה $(-V)$ וליציאה (V_{out}) כפי שמצוין בסכמה.

בנוסף, הוספנו שני נגדים:

- הנגד הראשון R_{in} , בעל ערך של $[1\text{k}]\Omega$, מחובר בטור למתח הכניסה.

- הנגד השני R_f , שערכו $[10\text{k}]\Omega$, מחובר במשוב בין היציאה לכניסה ההפוכה של המודול.

באמצעות הפקודה DC. הגדרנו הרצתה של סימולציית DC. במהלך הסימולציה, מתח המקור משתנה מערך ההתחלתי של $V_{\text{in}} = 0$ עד לערך סופי של $V_{\text{in}} = 10\text{V}$, בקצבות של 1V בכל שלב.

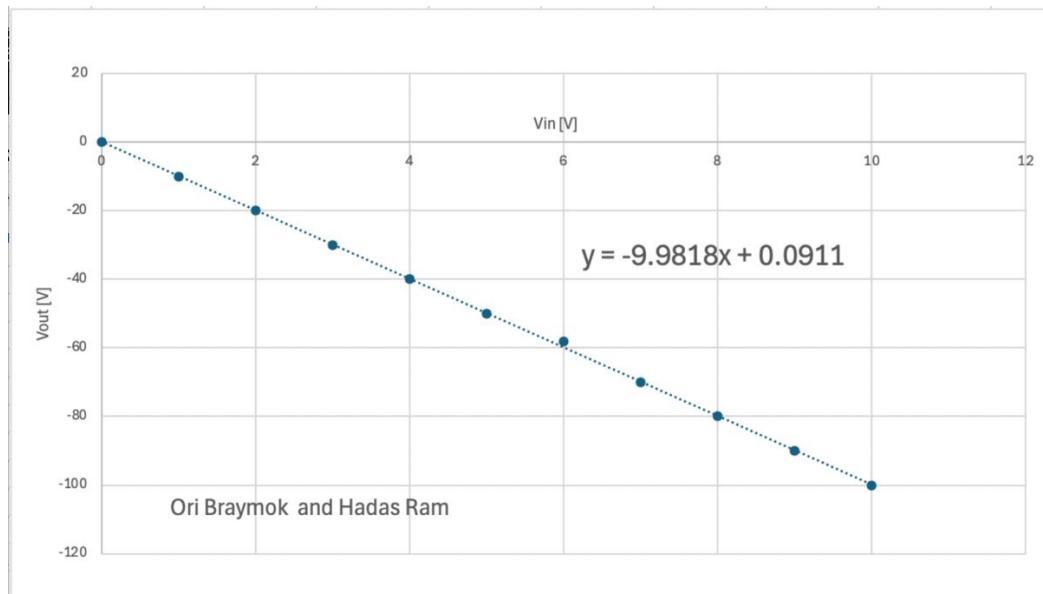
לבסוף, השתמשנו בפקודת PRINT DC. כדי למדוד ולהציג את ערך המתח ביציאה V_{out} – בכל שלב בסימולציה.

הציגו 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)
```

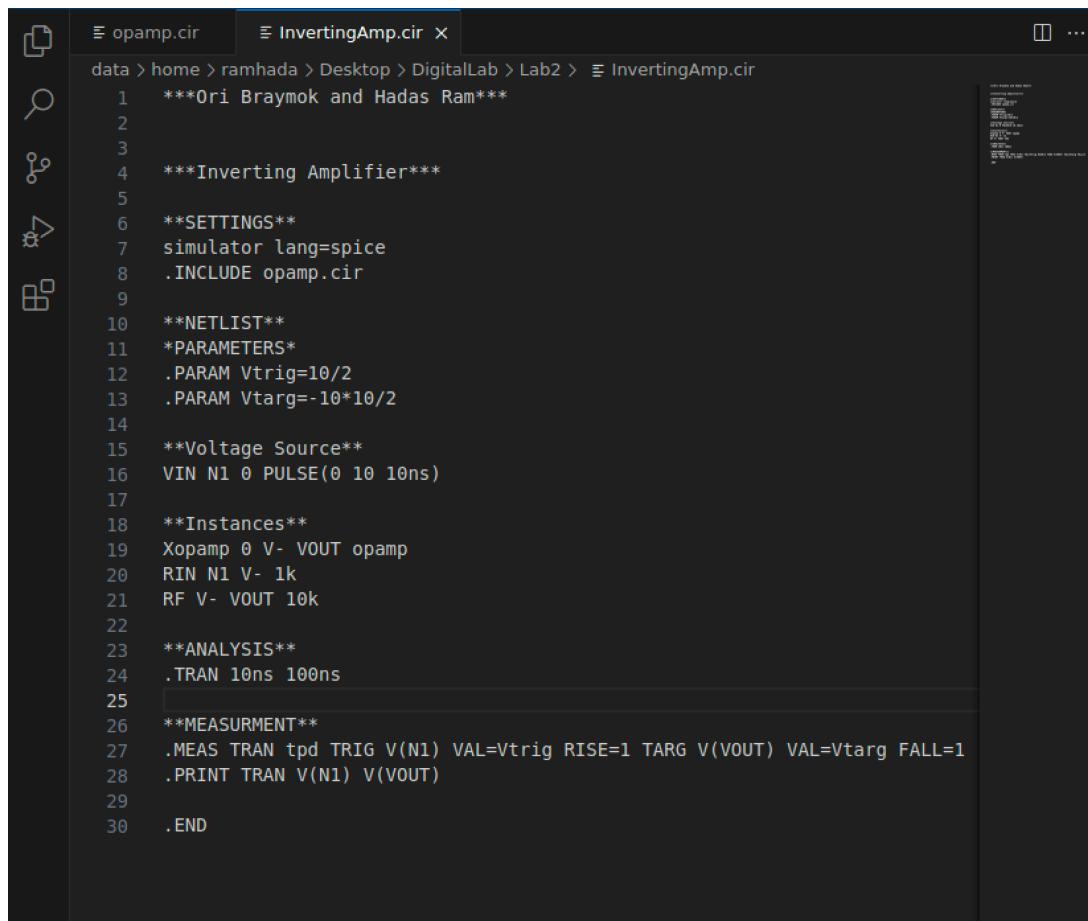
ניתן לראות כי מתח המוצא מוגבר פי 10- מתח הכניסה.
העברנו את התוצאות לאקסל ושרטטנו את מתח היציאה כפונקציה של מתח הכניסה.



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

ביצענו התאמת לינארית וקבענו שSHIPוע הגרף הוא 9.9818-9.9818, ערך מאד קרוב ל-10-, המגבר-מהפכ שטיכנו מגביר את מתח הכניסה פי ערך שקרוב ל10- כדרוש.

- 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.**



```

opamp.cir InvertingAmp.cir
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** כלנו את תיאור מגבר המשנה של מגבר השרת שהגדרנו בשאלה 1, כדי שנוכל להשתמש בו בהגדרת מגבר המהפכ.

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

חיברנו את מגבר השרת בעדרת האות השמורה X ושמנו את הטרמינלים של המגבר לפי הסכמה: טרמינל 0 (קרקע) , -V (כניסת המתח השילוי 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 סימולציה TRAN. (סימולציה בזמן) באורך של 100ns , עם צעדים בגודל של 10ns והתסימולציה מתחילה בזמן אפס.

בעזרת הפקודה PRINT TRAN. הגדרנו מדידה של מתח המוצא V_{out} ומתח הכניסה ($N1$) V במהלך סימולציה TRAN.

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

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

להלן תוצאות V_{out} כתלות ב- V_{in} :
הציגו אותם באמצעות הפקודה .gvim InvertingAmp.print

```

* ***Ori Braymok and Hadas Ram***
***** Transient Analysis ( timeSweep ) tnom= 27.0 temp= 27.0
*****
X
      time      v(N1)      v(VOUT)
      0          0          0
      2 n        0          0
      4 n        0          0
      6 n        0          0
      8 n        0          0
      10 n       0          0
      10.0003 n  3.49583 m -34.9577 m
      10.0006 n  5.94291 m -59.4284 m
      10.0011 n  10.8371 m -108.37 m
      10.0021 n  20.6254 m -206.252 m
      10.004 n   40.202 m -402.018 m
      10.0079 n  79.3552 m -793.549 m
      10.0158 n  157.662 m -1.57661
      10.0314 n  314.275 m -3.14273
      10.0628 n  627.592 m -6.27498
      10.1254 n  1.25395 -12.5395
      10.2507 n  2.50686 -25.0685
      10.5003 n  5.0025  -50.0247

```

18,1 Top

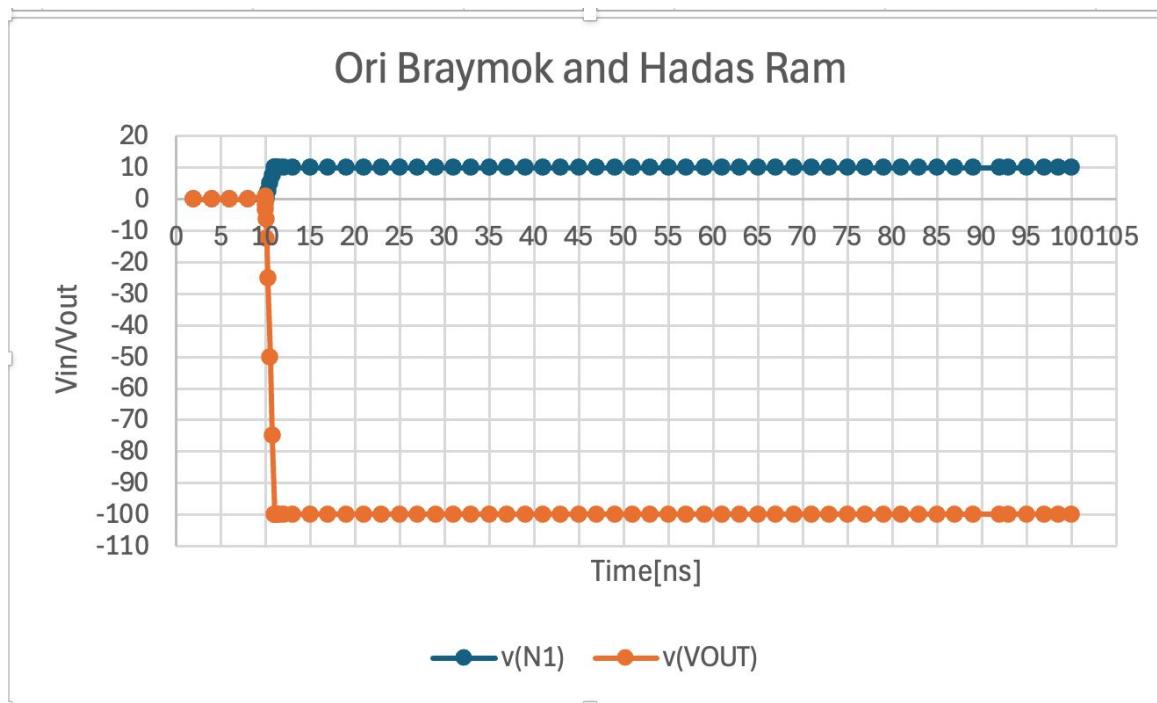
```

58.9836 n   10      -99.9994
60.9836 n   10      -99.9994
62.9836 n   10      -99.9994
64.9836 n   10      -99.9994
66.9836 n   10      -99.9994
68.9836 n   10      -99.9994
70.9836 n   10      -99.9994
72.9836 n   10      -99.9994
74.9836 n   10      -99.9994
76.9836 n   10      -99.9994
78.9836 n   10      -99.9994
80.9836 n   10      -99.9994
82.9836 n   10      -99.9994
84.9836 n   10      -99.9994
86.9836 n   10      -99.9994
88.9836 n   10      -99.9994
90.9836 n   10      -99.9994
92.9836 n   10      -99.9994
94.9836 n   10      -99.9994
96.9836 n   10      -99.9994
98.4918 n   10      -99.9994
100 n        10      -99.9994

```

39,1 38% 76,1 Bot

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



הגרף מציג את תופעת המעבר במגבר-מהפר מעשי. מתח הכניסה שווה לאפס עד 10ns , ולאחר מכן מתח המוצא נשאר אפס. לאחר 10ns מתח המוצא אמור לעלות בקצב מדרגה באופן תיאורתי, אך במצבות הוא עולה בצורה לינארית עד שmag'ע $[-10\text{V}]$. בהתאם לפועלות המגבר-מהפר, העלייה במתוח הכניסה גורמת לירידה במתוח המוצא. המגבר מהפר 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.isrl2

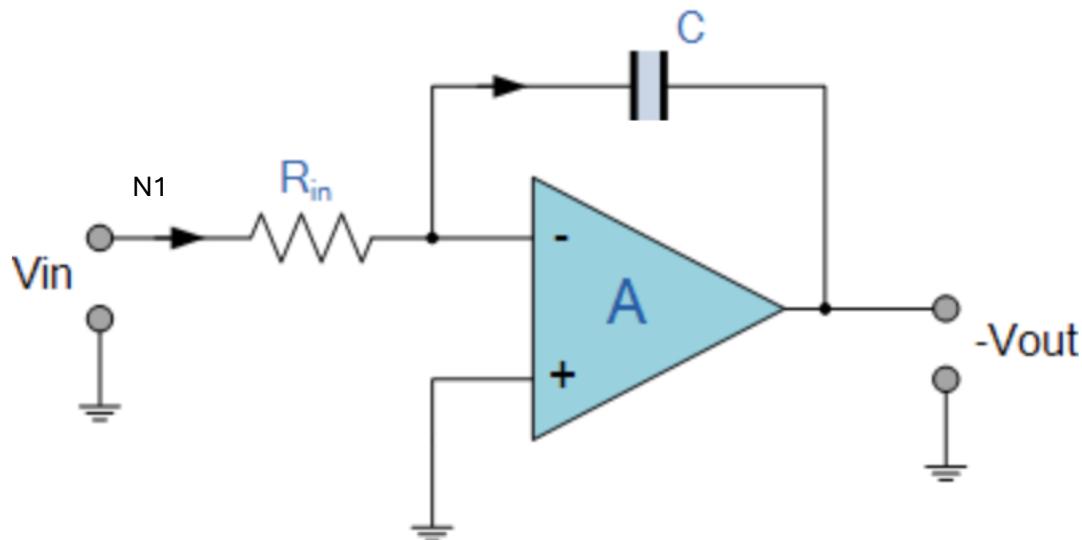
Measurement Name : timeSweep
Analysis Type   : tran
tpd             = 2.75744e-15

~
~
```

הציגו את המדידה של t_{pd} , זמן התפשטות בעזרת הפקודה הבאה בטרמינל:
`gvim InvertingAmp.measure`
הזמן המוצג בSPICE הוא בז' וכאן $t_{pd} = 2.75744 \cdot 10^{-15}$ השהייה אמנים קטנה ולא נראית בגרף, אך במערכת גדולה כזו מצטבר הוא עלול להפוך למשמעותי.

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**

תכנו 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 Integrator***
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 **MEASURMENT**
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 כלנו את תיאור מעגל המשנה של מגבר השרת שהגדכנו בשאלה 1, על מנת שנוכל להשתמש בו בהגדרת המעגל של האינטגרטור.

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

לאחר מכן, חיברנו את מגבר השרת בעזרת האות השמורה X ופרטנו את הטרמינלים שלו לפי הסכמת טרמינל 0 (קרקע) - V (כניסת המתח השלייל של המגבר), V_{out} (המתח היוצא מהמעגל).
הגדרנו נגד $C_f=1[\mu F]$ וקבל $R_{in}=1[k\Omega]$.

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

בעזרת פקודה PRINT AC. ביצענו מדיה של מתח המוצא V_{out} במהלך סימולציית ה-AC.

בעזרת פקודה gvim שהרצנו בטרמינל קיבלנו את הערכים הבאים:

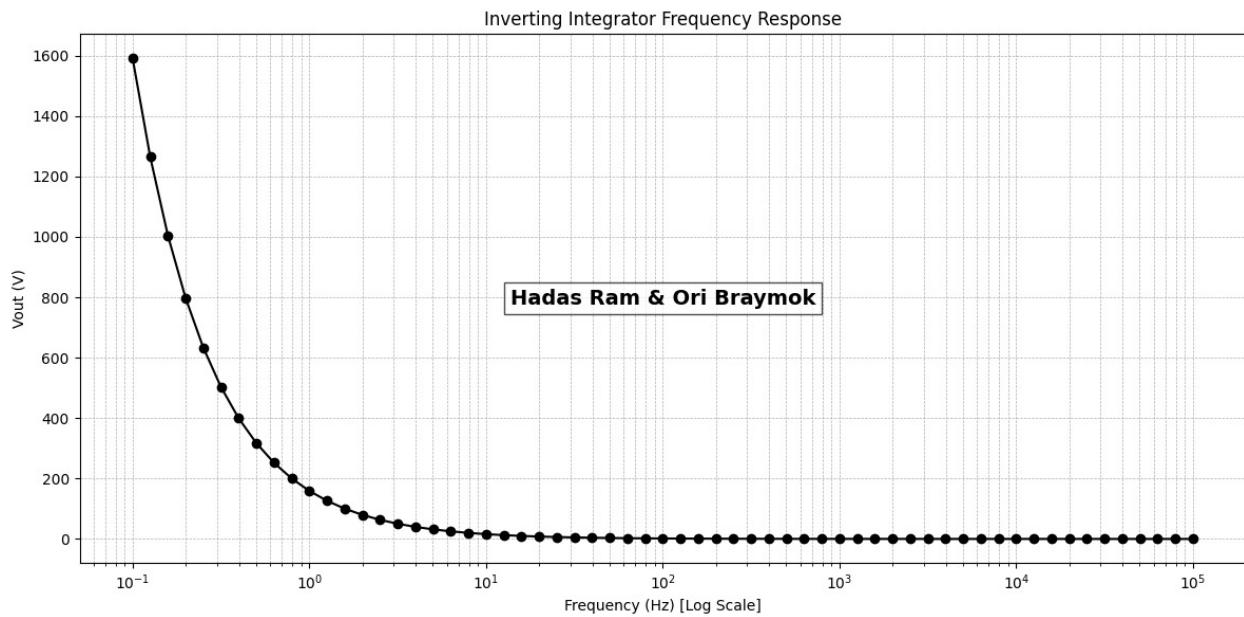
```

***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 0.797664 k
251.189 m 0.633687 k
316.228 m 0.503292 k
398.107 m 0.399779 k
501.187 m 0.317556 k
630.957 m 0.252243 k
794.328 m 0.200364 k
1          0.159155
1.25893   0.126421
1.58489   0.10042
1.99526   0.0797664
2.51189   0.0633687
3.16228   0.0503292
3.98107   0.0399779
5.01187   0.0317556
      0.0252243
      0.0200364
      0.0159155
      0.0126421
      0.010042
      0.00797664
      0.00633687
      0.00503292
      0.00399779
      0.00317556
      0.00252243
      0.00200364
      0.00159155
      0.00126421
      0.0010042
      0.000797664
      0.000633687
      0.000503292
      0.000399779
      0.000317556
      0.000252243
      0.000200364
      0.000159155
      0.000126421
      0.00010042
      0.0000797664
      0.0000633687
      0.0000503292
      0.0000399779
      0.0000317556
      0.0000252243
      0.0000200364
      0.0000159155
      0.0000126421
      0.000010042
      0.00000797664
      0.00000633687
      0.00000503292
      0.00000399779
      0.00000317556
      0.00000252243
      0.00000200364
      0.00000159155
      0.00000126421
      0.0000010042
      0.000000797664
      0.000000633687
      0.000000503292
      0.000000399779
      0.000000317556
      0.000000252243
      0.000000200364
      0.000000159155
      0.000000126421
      0.00000010042
      0.0000000797664
      0.0000000633687
      0.0000000503292
      0.0000000399779
      0.0000000317556
      0.0000000252243
      0.0000000200364
      0.0000000159155
      0.0000000126421
      0.000000010042
      0.00000000797664
      0.00000000633687
      0.00000000503292
      0.00000000399779
      0.00000000317556
      0.00000000252243
      0.00000000200364
      0.00000000159155
      0.00000000126421
      0.0000000010042
      0.000000000797664
      0.000000000633687
      0.000000000503292
      0.000000000399779
      0.000000000317556
      0.000000000252243
      0.000000000200364
      0.000000000159155
      0.000000000126421
      0.00000000010042
      0.0000000000797664
      0.0000000000633687
      0.0000000000503292
      0.0000000000399779
      0.0000000000317556
      0.0000000000252243
      0.0000000000200364
      0.0000000000159155
      0.0000000000126421
      0.000000000010042
      0.00000000000797664
      0.00000000000633687
      0.00000000000503292
      0.00000000000399779
      0.00000000000317556
      0.00000000000252243
      0.00000000000200364
      0.00000000000159155
      0.00000000000126421
      0.0000000000010042
      0.000000000000797664
      0.000000000000633687
      0.000000000000503292
      0.000000000000399779
      0.000000000000317556
      0.000000000000252243
      0.000000000000200364
      0.000000000000159155
      0.000000000000126421
      0.00000000000010042
      0.0000000000000797664
      0.0000000000000633687
      0.0000000000000503292
      0.0000000000000399779
      0.0000000000000317556
      0.0000000000000252243
      0.0000000000000200364
      0.0000000000000159155
      0.0000000000000126421
      0.000000000000010042
      0.00000000000000797664
      0.00000000000000633687
      0.00000000000000503292
      0.00000000000000399779
      0.00000000000000317556
      0.00000000000000252243
      0.00000000000000200364
      0.00000000000000159155
      0.00000000000000126421
      0.0000000000000010042
      0.000000000000000797664
      0.000000000000000633687
      0.000000000000000503292
      0.000000000000000399779
      0.000000000000000317556
      0.000000000000000252243
      0.000000000000000200364
      0.000000000000000159155
      0.000000000000000126421
      0.00000000000000010042
      0.0000000000000000797664
      0.0000000000000000633687
      0.0000000000000000503292
      0.0000000000000000399779
      0.0000000000000000317556
      0.0000000000000000252243
      0.0000000000000000200364
      0.0000000000000000159155
      0.0000000000000000126421
      0.000000000000000010042
      0.00000000000000000797664
      0.00000000000000000633687
      0.00000000000000000503292
      0.00000000000000000399779
      0.00000000000000000317556
      0.00000000000000000252243
      0.00000000000000000200364
      0.00000000000000000159155
      0.00000000000000000126421
      0.0000000000000000010042
      0.000000000000000000797664
      0.000000000000000000633687
      0.000000000000000000503292
      0.000000000000000000399779
      0.000000000000000000317556
      0.000000000000000000252243
      0.000000000000000000200364
      0.000000000000000000159155
      0.000000000000000000126421
      0.00000000000000000010042
      0.0000000000000000000797664
      0.0000000000000000000633687
      0.0000000000000000000503292
      0.0000000000000000000399779
      0.0000000000000000000317556
      0.0000000000000000000252243
      0.0000000000000000000200364
      0.0000000000000000000159155
      0.0000000000000000000126421
      0.000000000000000000010042
      0.00000000000000000000797664
      0.00000000000000000000633687
      0.00000000000000000000503292
      0.00000000000000000000399779
      0.00000000000000000000317556
      0.00000000000000000000252243
      0.00000000000000000000200364
      0.00000000000000000000159155
      0.00000000000000000000126421
      0.0000000000000000000010042
      0.000000000000000000000797664
      0.000000000000000000000633687
      0.000000000000000000000503292
      0.000000000000000000000399779
      0.000000000000000000000317556
      0.000000000000000000000252243
      0.000000000000000000000200364
      0.000000000000000000000159155
      0.000000000000000000000126421
      0.00000000000000000000010042
      0.0000000000000000000000797664
      0.0000000000000000000000633687
      0.0000000000000000000000503292
      0.0000000000000000000000399779
      0.0000000000000000000000317556
      0.0000000000000000000000252243
      0.0000000000000000000000200364
      0.0000000000000000000000159155
      0.0000000000000000000000126421
      0.000000000000000000000010042
      0.00000000000000000000000797664
      0.00000000000000000000000633687
      0.00000000000000000000000503292
      0.00000000000000000000000399779
      0.00000000000000000000000317556
      0.00000000000000000000000252243
      0.00000000000000000000000200364
      0.00000000000000000000000159155
      0.00000000000000000000000126421
      0.0000000000000000000000010042
      0.000000000000000000000000797664
      0.000000000000000000000000633687
      0.000000000000000000000000503292
      0.000000000000000000000000399779
      0.000000000000000000000000317556
      0.000000000000000000000000252243
      0.000000000000000000000000200364
      0.000000000000000000000000159155
      0.000000000000000000000000126421
      0.00000000000000000000000010042
      0.0000000000000000000000000797664
      0.0000000000000000000000000633687
      0.0000000000000000000000000503292
      0.0000000000000000000000000399779
      0.0000000000000000000000000317556
      0.0000000000000000000000000252243
      0.0000000000000000000000000200364
      0.0000000000000000000000000159155
      0.0000000000000000000000000126421
      0.000000000000000000000000010042
      0.00000000000000000000000000797664
      0.00000000000000000000000000633687
      0.00000000000000000000000000503292
      0.00000000000000000000000000399779
      0.00000000000000000000000000317556
      0.00000000000000000000000000252243
      0.00000000000000000000000000200364
      0.00000000000000000000000000159155
      0.00000000000000000000000000126421
      0.0000000000000000000000000010042
      0.000000000000000000000000000797664
      0.000000000000000000000000000633687
      0.000000000000000000000000000503292
      0.000000000000000000000000000399779
      0.000000000000000000000000000317556
      0.000000000000000000000000000252243
      0.000000000000000000000000000200364
      0.000000000000000000000000000159155
      0.000000000000000000000000000126421
      0.00000000000000000000000000010042
      0.0000000000000000000000000000797664
      0.0000000000000000000000000000633687
      0.0000000000000000000000000000503292
      0.0000000000000000000000000000399779
      0.0000000000000000000000000000317556
      0.0000000000000000000000000000252243
      0.0000000000000000000000000000200364
      0.0000000000000000000000000000159155
      0.0000000000000000000000000000126421
      0.000000000000000000000000000010042
      0.00000000000000000000000000000797664
      0.00000000000000000000000000000633687
      0.00000000000000000000000000000503292
      0.00000000000000000000000000000399779
      0.00000000000000000000000000000317556
      0.00000000000000000000000000000252243
      0.00000000000000000000000000000200364
      0.00000000000000000000000000000159155
      0.00000000000000000000000000000126421
      0.0000000000000000000000000000010042
      0.000000000000000000000000000000797664
      0.000000000000000000000000000000633687
      0.000000000000000000000000000000503292
      0.000000000000000000000000000000399779
      0.000000000000000000000000000000317556
      0.000000000000000000000000000000252243
      0.000000000000000000000000000000200364
      0.000000000000000000000000000000159155
      0.000000000000000000000000000000126421
      0.00000000000000000000000000000010042
      0.0000000000000000000000000000000797664
      0.0000000000000000000000000000000633687
      0.0000000000000000000000000000000503292
      0.0000000000000000000000000000000399779
      0.0000000000000000000000000000000317556
      0.0000000000000000000000000000000252243
      0.0000000000000000000000000000000200364
      0.0000000000000000000000000000000159155
      0.0000000000000000000000000000000126421
      0.000000000000000000000000000000010042
      0.00000000000000000000000000000000797664
      0.00000000000000000000000000000000633687
      0.00000000000000000000000000000000503292
      0.00000000000000000000000000000000399779
      0.00000000000000000000000000000000317556
      0.00000000000000000000000000000000252243
      0.00000000000000000000000000000000200364
      0.00000000000000000000000000000000159155
      0.00000000000000000000000000000000126421
      0.0000000000000000000000000000000010042
      0.000000000000000000000000000000000797664
      0.000000000000000000000000000000000633687
      0.000000000000000000000000000000000503292
      0.000000000000000000000000000000000399779
      0.000000000000000000000000000000000317556
      0.000000000000000000000000000000000252243
      0.000000000000000000000000000000000200364
      0.000000000000000000000000000000000159155
      0.000000000000000000000000000000000126421
      0.00000000000000000000000000000000010042
      0.0000000000000000000000000000000000797664
      0.0000000000000000000000000000000000633687
      0.0000000000000000000000000000000000503292
      0.0000000000000000000000000000000000399779
      0.0000000000000000000000000000000000317556
      0.0000000000000000000000000000000000252243
      0.0000000000000000000000000000000000200364
      0.0000000000000000000000000000000000159155
      0.0000000000000000000000000000000000126421
      0.000000000000000000000000000000000010042
      0.00000000000000000000000000000000000797664
      0.00000000000000000000000000000000000633687
      0.00000000000000000000000000000000000503292
      0.00000000000000000000000000000000000399779
      0.00000000000000000000000000000000000317556
      0.00000000000000000000000000000000000252243
      0.00000000000000000000000000000000000200364
      0.000000000
```

M	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
12.5893 M	12.6421 u
15.8489 M	10.642 u
19.9526 M	7.97664 u
25.1189 M	6.33607 u
31.6228 M	5.63292 u
39.8107 M	3.99779 u
50.1187 M	3.17556 u
63.6957 M	2.52244 u
79.4328 M	2.00364 u
100 M	1.59155 u

 The terminal window has a vertical scroll bar on the right and a status bar at the bottom showing '87,2 Bot'.

בעזרת פיתון שרטטנו את מהה המוצא כפונקציה התדר:



הגרף של מהה המוצא כפונקציה של התדר מתאר התנהגות של מסנן מעביר נמוכים (LPF). ככל שהתדר של מהה המקור עולה, מהה המוצא יורד, וכאשר התדרים עוביים את ה- $10[\text{Hz}]$, מהה המוצא שווה לאפס.

בהתדרים גבוהים הקבל מתפרק כמו קצץ (עכבה נמוכה), ולכן עליו מהה, ומהה המוצא יהיה אפס ($V_{\text{out}} = 0$). בתדרים נמוכים, הקבל מתפרק כמו נתק (עכבה גבוהה), ווופל עליו מהה, כך שמתה המוצא יהיה גדול ומצויה עם מהה על הקבל.

אם נסתכל על המתה בגרף, נראה שהוא יורד כמו $\omega/1$ כלומר ככל שהקיבול של הקבל גדול יותר, המתה בתדרים נמוכים יהיה נמוך יותר.