
Proiect la Electronică Analogică

DRAGNE LAVINIA-ȘTEFANA

324CA, ACS, UPB

lavinia.dragne@stud.acs.upb.ro

24 ianuarie 2021

Contents

1	Schema propusă	4
1.1	Să se introducă în simulator schema propusă, cu valorile numerice personalizate după cum urmează.	4
2	Să se realizeze o simulare de tip DC Sweep, din care să rezulte	4
2.1	Caracteristica de transfer a schemei (grafic V_{out} funcție de V_1) . .	4
2.2	Domeniul tensiunii de intrare pentru care schema funcționează liniar	5
2.3	Amplificarea de tensiune a schemei	6
3	Să se realizeze o simulare de tip AC, din care să rezulte	7
3.1	Caracteristica de frecvență a schemei (suficient modulul amplificării) la scară logaritmică	7
3.2	Banda de trecere a schemei (fiind de tip filtru trece-jos, este egală cu frecvența de -3dB).	7
4	Să se realizeze o simulare de tip Transient, din care să rezulte	8
4.1	Răspunsul la semnal tip treaptă, la o scală de timp potrivită pentru a observa fenomenul tranzitoriu	8
4.2	Timpul de creștere (intervalul de la începutul fenomenului tranzitoriu până la parcurgerea a 90% din amplitudinea vârf-la-vârf a ieșirii)	9
5	Să se modifice schema astfel încât să se obțină caracteristicile următoare	10
5.1	Schema trebuie să transfere domeniul de intrare specificat ($-V_{im}, +V_{im}$) în domeniul de ieșire specificat ($-V_{om}, +V_{om}$)	10
5.2	Schema trebuie să aibă frecvența de -3dB specificată	12
6	Bonus	16
6.1	Schema propusă	17
6.2	Caracteristica de transfer a schemei	17
6.3	Domeniul tensiunii de intrare pentru care schema funcționează liniar	18
6.4	Amplificarea de tensiune a schemei	18
6.5	Caracteristica de frecvență a schemei (suficient modulul amplificării) la scară logaritmică	18
6.6	Banda de trecere a schemei (fiind de tip filtru trece-jos, este egală cu frecvența de -3dB).	19
6.7	Simulare Transient	19
6.8	Răspunsul la semnal tip treaptă, la o scală de timp potrivită pentru a observa fenomenul tranzitoriu	19

6.9	Timpul de creștere (intervalul de la începutul fenomenului tranzitoriu până la parcurgerea a 90% din amplitudinea vârf-la-vârf a ieșirii)	20
6.10	Schema trebuie să transfere domeniul de intrare specificat $(-V_{im}, +V_{im})$ în domeniul de ieșire specificat $(-V_{om}, +V_{om})$	21
6.11	Schema trebuie să aibă frecvența de -3dB specificată	23
7	Concluzii finale	26

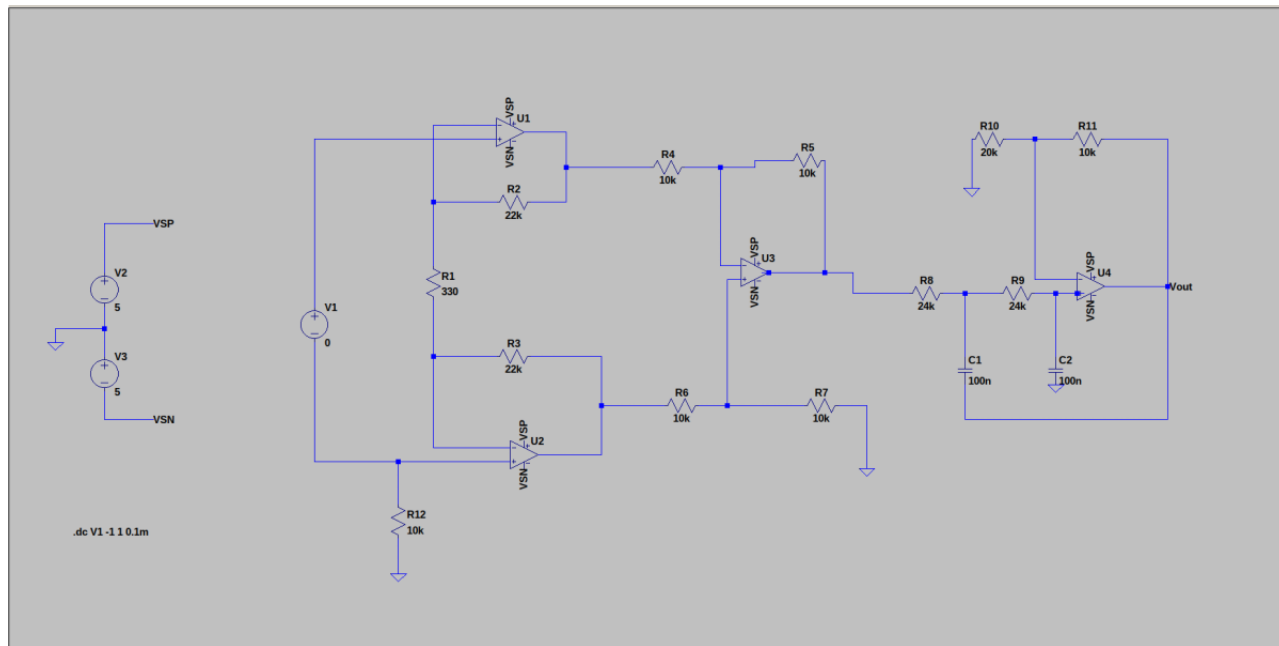
1 Schema propusă

1.1 Să se introducă în simulator schema propusă, cu valorile numerice personalizate după cum urmează.

Valorile personalizate alese pentru aceasta simulare sunt:

- $R_1 = 330\Omega$.
- $R_2 = R_3 = 22k\Omega$.
- $R_8 = R_9 = 24k\Omega$.

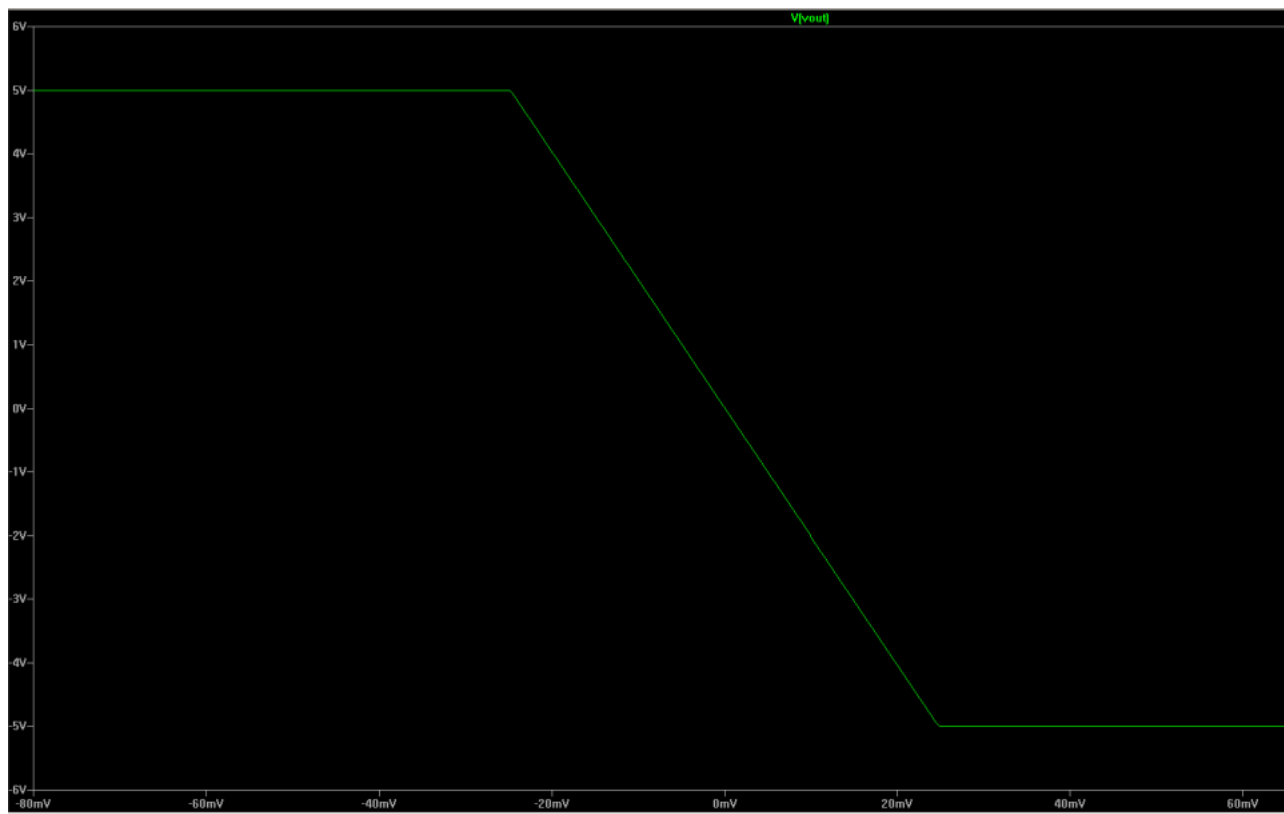
Am introdus in simulator schema propusa și am personalizat valorile cu cele de mai sus:



2 Să se realizeze o simulare de tip DC Sweep, din care să rezulte

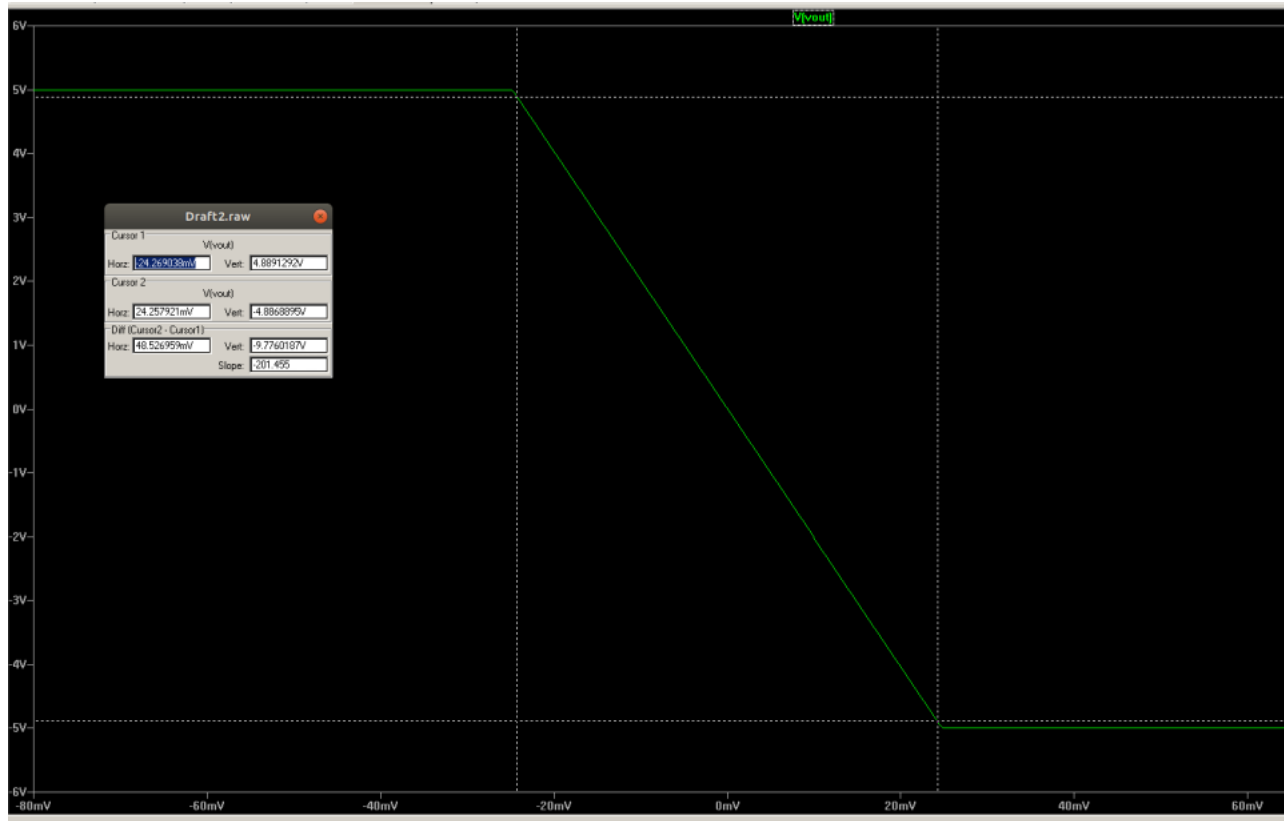
2.1 Caracteristica de transfer a schemei (grafic V_{out} funcție de V_1)

Am variat tensiunea între -1V și 1V cu pasul 0.1mV, obținând caracteristica de transfer:



2.2 Domeniul tensiunii de intrare pentru care schema funcționează liniar

Am adăugat 2 cursoare pe grafic și se observă că zona în care tensiunea de intrare funcționează liniar este intervalul $[-24.26\text{mV}, 24.26\text{mV}]$.



2.3 Amplificarea de tensiune a schemei

Observăm că panta graficului este -201.45, aceasta în modul reprezintă factorul de amplificare. Deci factorul de amplificare este 201.45.

Se compară această valoare cu cea teoretică, folosind formula:

$$A = \left(1 + \frac{R_2 + R_3}{R_1}\right) * \frac{-R_5}{R_4} * \left(1 + \frac{R_{11}}{R_{10}}\right)$$

Înlocuind cu valorile din schemă obținem:

$$A = \left(1 + \frac{22000\Omega + 22000\Omega}{330\Omega}\right) * \frac{-10000\Omega}{10000\Omega} * \left(1 + \frac{10000\Omega}{20000\Omega}\right)$$

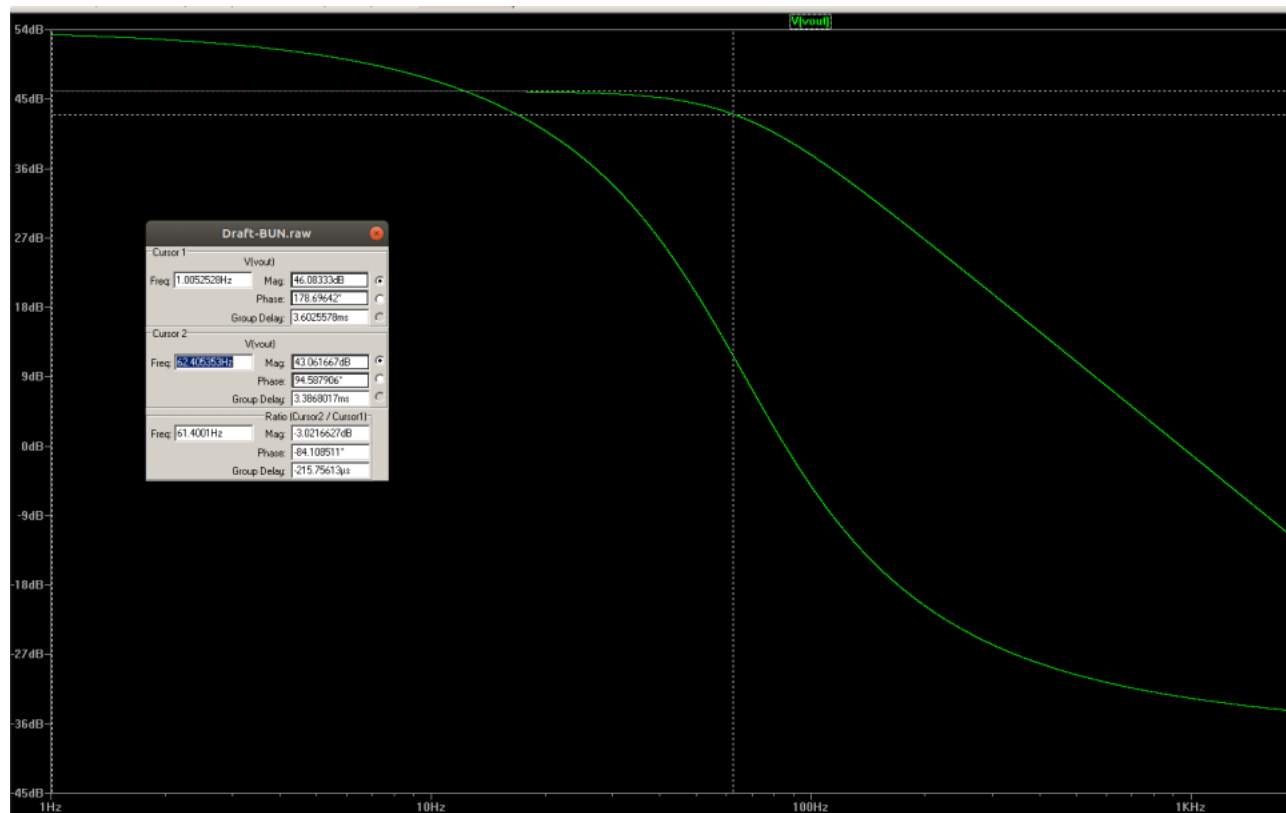
Deci $A = -201.5$.

Comparând -201.5 cu -201.45 se obține o eroare de +/- 0.025%. Amplificatorul simulează o piesă reală și are amplificare în buclă deschisă finită, de aici și erorile.

3 Să se realizeze o simulare de tip AC, din care să rezulte

3.1 Caracteristica de frecvență a schemei (suficient modulul amplificării) la scară logaritmică

În urma simulării de tip AC cu frecvența aparținând intervalului [1, 100k] Hz se obține caracteristica de frecvență de mai jos:



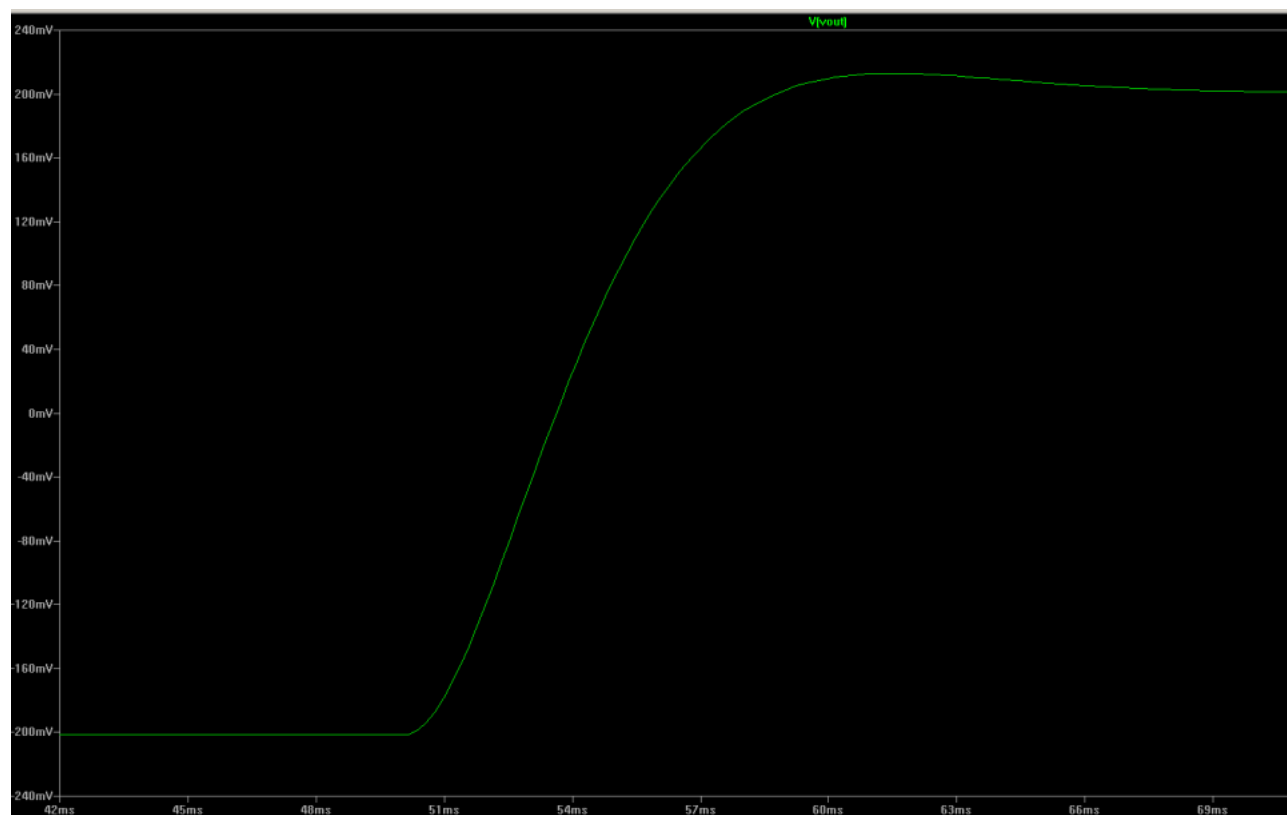
3.2 Banda de trecere a schemei (fiind de tip filtru trece-jos, este egală cu frecvența de -3dB).

Din schema anterioară banda de trecere este egală cu frecvența de tăiere și este 62.41 Hz.

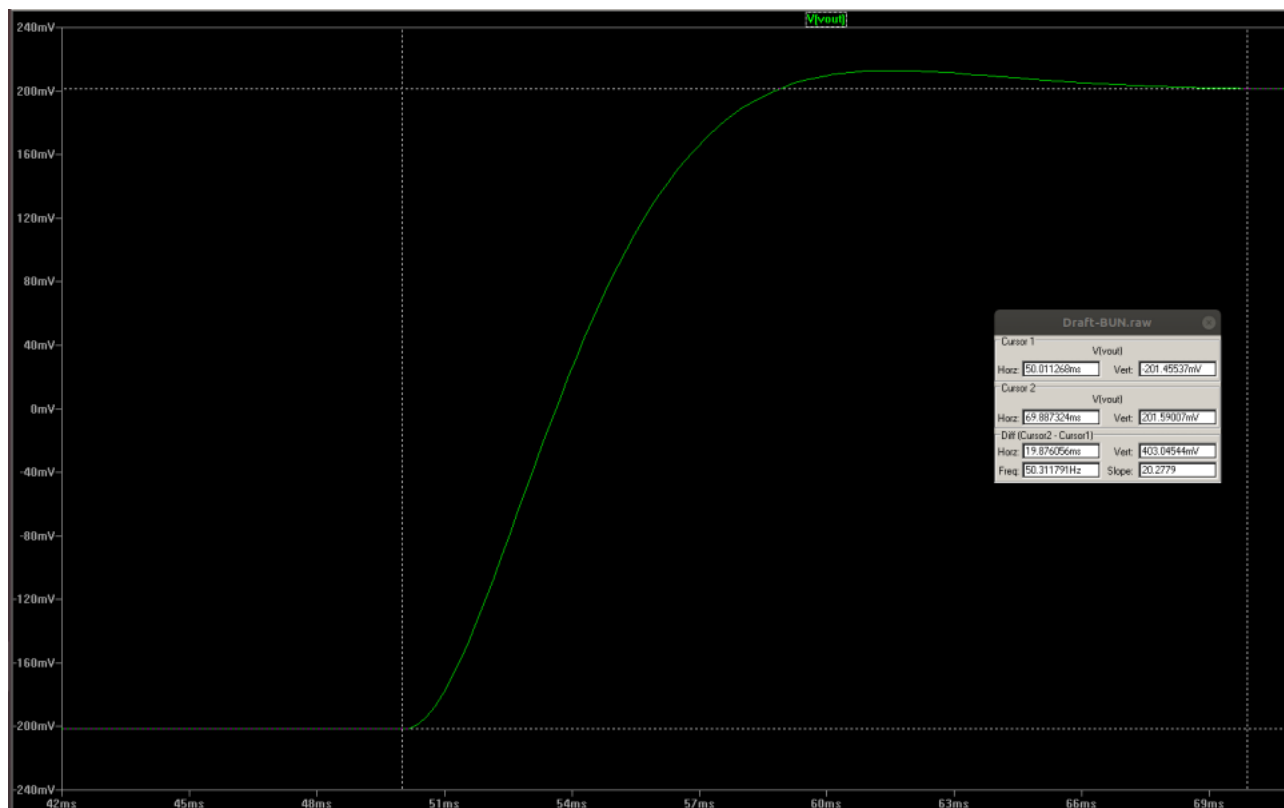
4 Să se realizeze o simulare de tip Transient, din care să rezulte

4.1 Răspunsul la semnal tip treaptă, la o scală de timp potrivită pentru a observa fenomenul tranzitoriu

Am realizat o simulare de tip transient timp de 200ms cu următoarele intrări: tensiunea inițială: -1mV, tensiune on: 1mV, întârziere: 100us, timp de creștere: 5ns, timp de descreștere: 5 ns, timp on: 50ms, durata perioadei: 100ms, 2 cicluri.



4.2 Timpul de creștere (intervalul de la începutul fenomenului tranzitoriu până la parcurgerea a 90% din amplitudinea vârf-la-vârf a ieșirii)



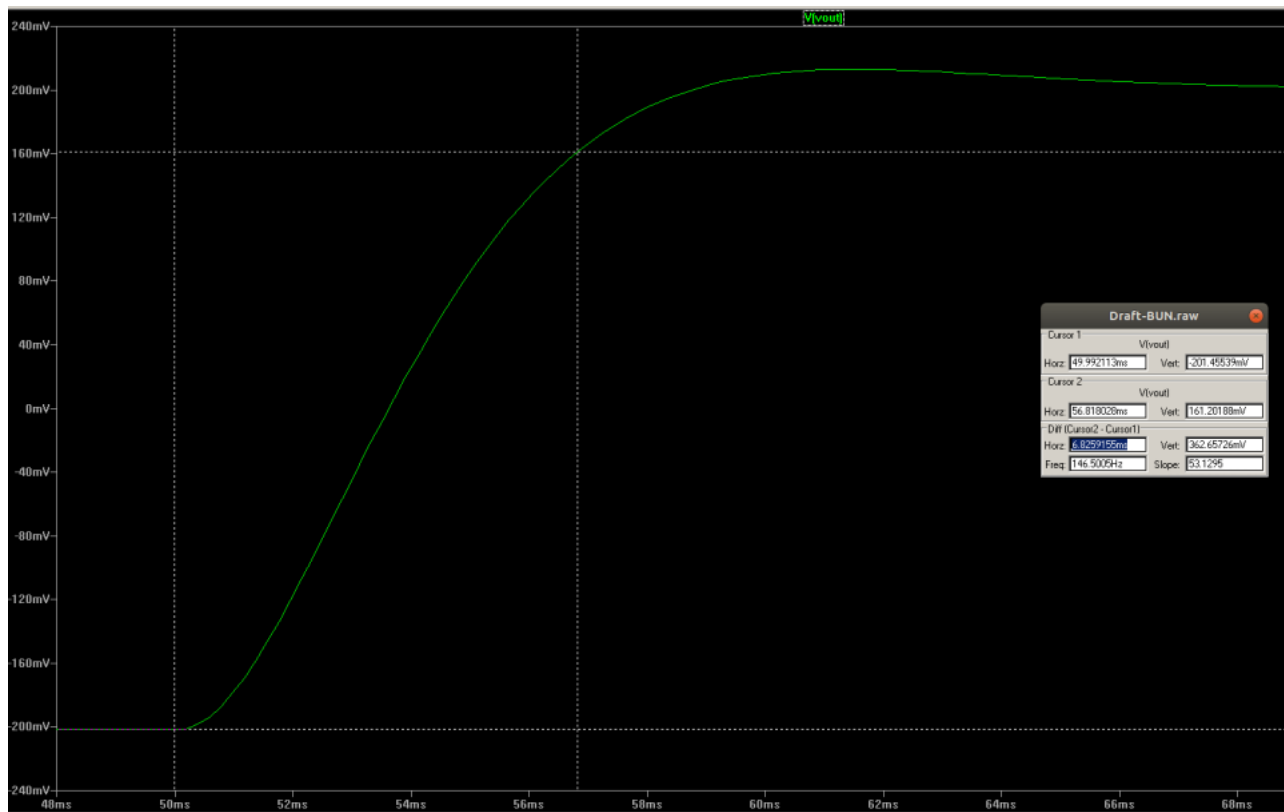
Amplitudinea variază, conform graficului și poziționării celor 2 cursoare între -201.45mV și 201.59mV .

$$\text{Deci } V_{pp_{out}} = 201.59\text{mV} - (-201.45)\text{mV} = 403.01\text{mV}.$$

$$0.9 * V_{pp} = 362.709\text{mV}.$$

$$V_{i_o} = -201.45\text{mV}$$

$$V_{90\%} = -201.45\text{mV} + 362.70\text{mV} = 161.25\text{mV}.$$



Concluzionăm ca timpul de creștere $t_{cr} = 6.82ms$.

Cum frecvența era $f_c = 62.41Hz$, perioada va fi $T = \frac{1}{f_c}$, deci $T = 16.02ms$.

$$\frac{T}{t_{cr}} = \frac{16.02ms}{6.82ms}$$

$$\frac{T}{t_{cr}} = 2.35$$

Deci relația dintre timpul de creștere și perioadă este:

$$T = 2.35 * t_{cr}$$

5 Să se modifice schema astfel încât să se obțină caracteristicile următoare

5.1 Schema trebuie să transfere domeniul de intrare specificat $(-V_{im}, +V_{im})$ în domeniul de ieșire specificat $(-V_{om}, +V_{om})$

Trebuie să modific intervalul de intrare $(-50mV, 50mV)$ în intervalul de ieșire $(-2.5V, 2.5V)$.

Trebuie sa aleg $A = \frac{V_{o_{maxim}}}{V_{i_{maxim}}}$, înlocuind $A = \frac{2500mV}{50mV}$.

Deci $A = 50$.

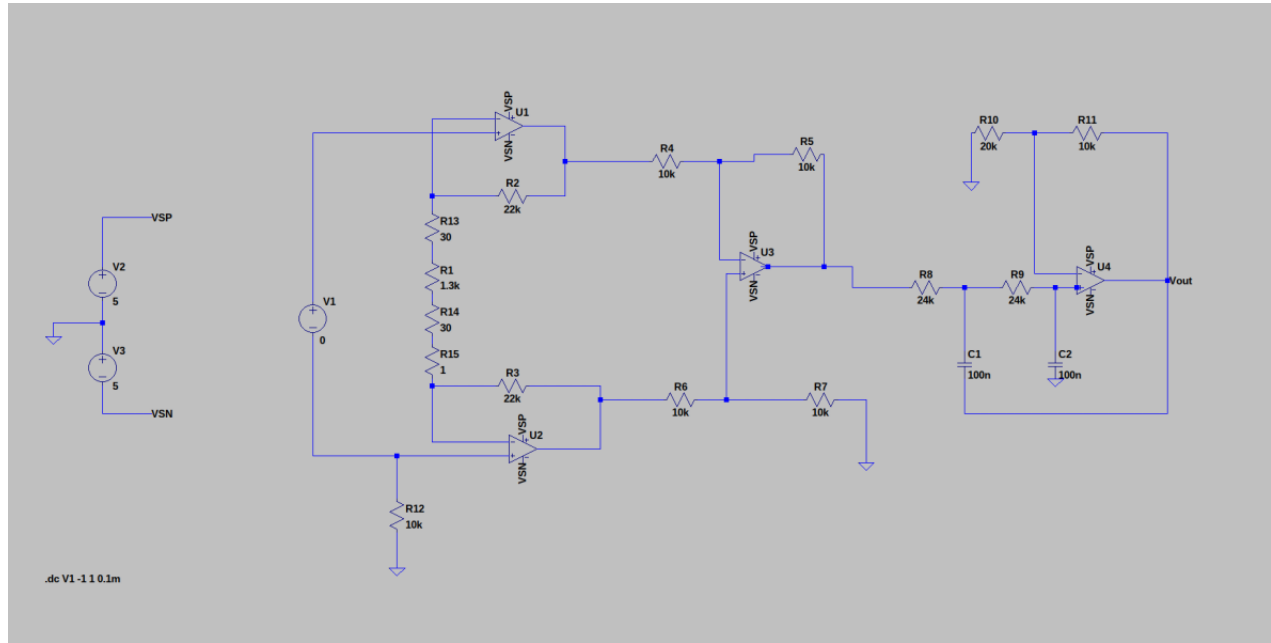
Înlocuim în $A = (1 + \frac{R_2+R_3}{R_1}) * \frac{-R_5}{R_4} * (1 + \frac{R_{11}}{R_{10}})$ obținem:

$$-50 = (1 + \frac{22000\Omega + 22000\Omega}{R_1}) * \frac{-10k\Omega}{10k\Omega} * (1 + \frac{10k\Omega}{20k\Omega})$$

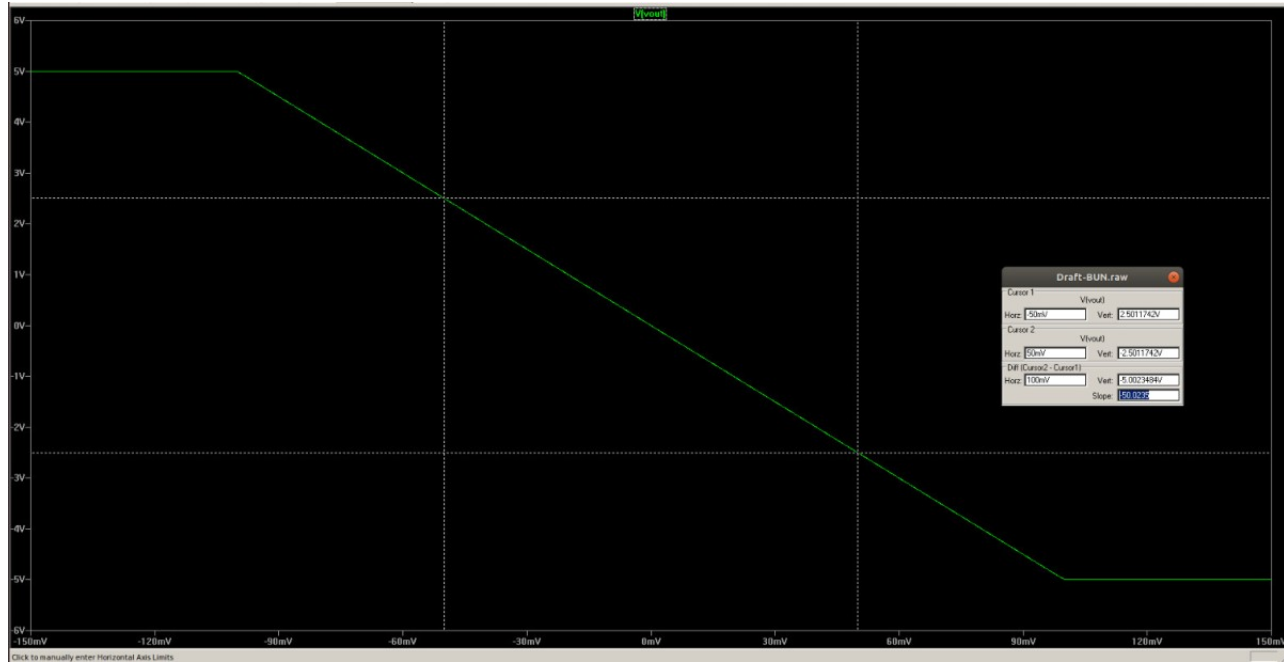
Deci $R_1 = 1360.82\Omega$

$R_1 = 1361\Omega$.

Pentru respectarea standardului E24 voi folosi rezistența R_1 cu $1.3k\Omega$, 2 rezistențe (R_{13} și R_{14}) de 30Ω și una (R_{15}) de 1Ω , grupate în serie. Refac schema cu valorile noi.



Refac simularea de tip .dc și se observă cum schema transferă domeniul de intrare (-50mV, 50mV) în (-2.50V, 2.50V) cu o amplificare de 50.02. Astfel, eroarea de la amplificare este de 0.04% din cauza factorului $\frac{1}{AOL}$, care în mod ideal era 0. Totuși eroarea este mai mica de 5%.



5.2 Schema trebuie să aibă frecvența de -3dB specificată

Frecvența de bandă ce trebuie obținută este $f_c = 300\text{Hz}$. Frecvența caracteristică inițială (de la punctul 3.2) este $f_c = 62.41\text{Hz}$.

$$\frac{f'_c}{f_c} = \frac{300\text{Hz}}{62.41\text{Hz}}. \text{ Deci } \frac{f'_c}{f_c} = 4.80$$

$$\text{Dar } f_c = \frac{1}{\sqrt{R_8 * R_9 * C_1 * C_2}}.$$

$$\text{Dar } f'_c = \frac{1}{\sqrt{R'_8 * R'_9 * C_1 * C_2}}.$$

$$\text{Deci } \frac{1}{\sqrt{R'_8 * R'_9 * C_1 * C_2}} = 4.8 * \frac{1}{\sqrt{R_8 * R_9 * C_1 * C_2}}.$$

Pentru asta voi modifica valorile rezistențelor R_8 și R_9 :

$$R'_8 = \frac{R_8}{4.8}$$

$$R'_8 = \frac{24000\Omega}{4.8}$$

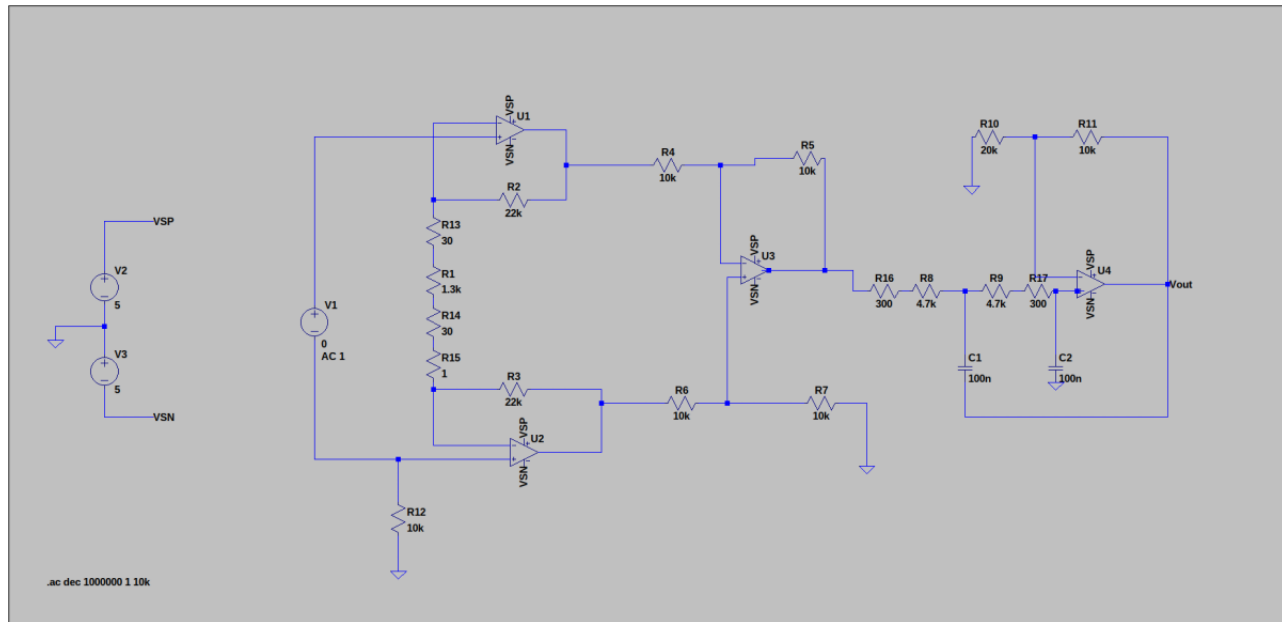
$$R'_8 = 5000\Omega.$$

$$R'_9 = \frac{R_9}{4.8}$$

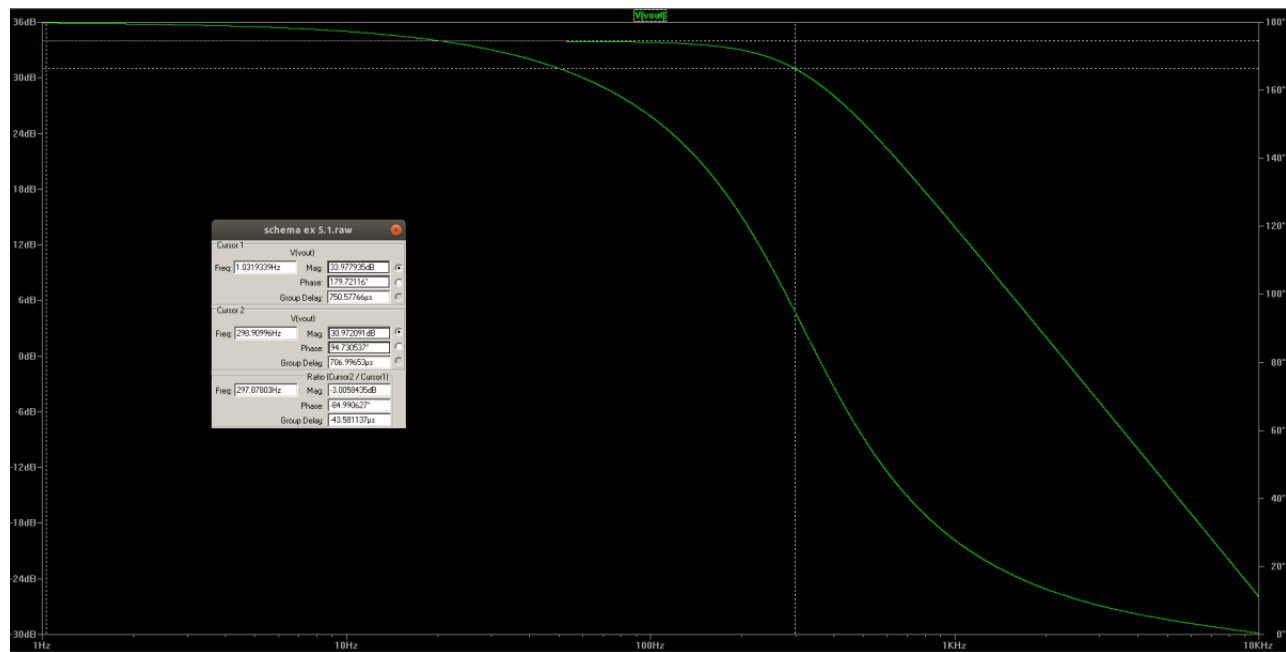
$$R'_9 = \frac{24000\Omega}{4.8}$$

$$R'_9 = 5000\Omega.$$

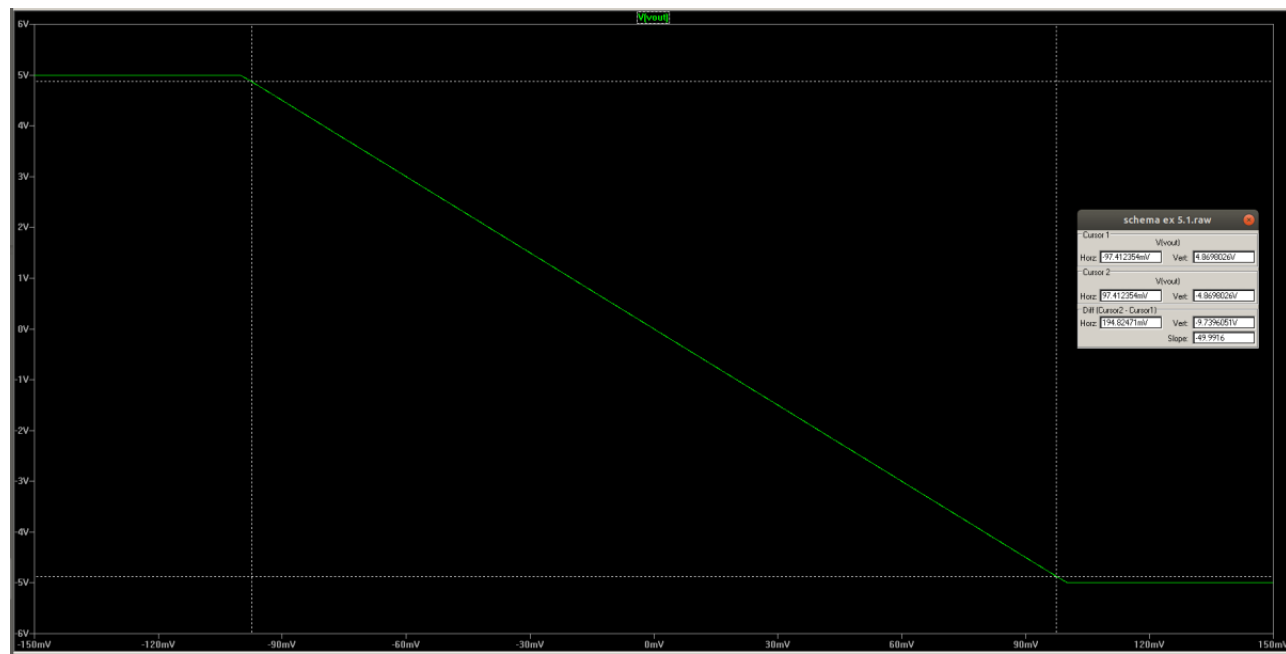
Pentru a respecta standardul E24 voi folosi câte 2 rezistențe grupate în serie (una de $4.7k\Omega$ și una de 300Ω) pentru a echivala câte 1 rezistență de 5000Ω .



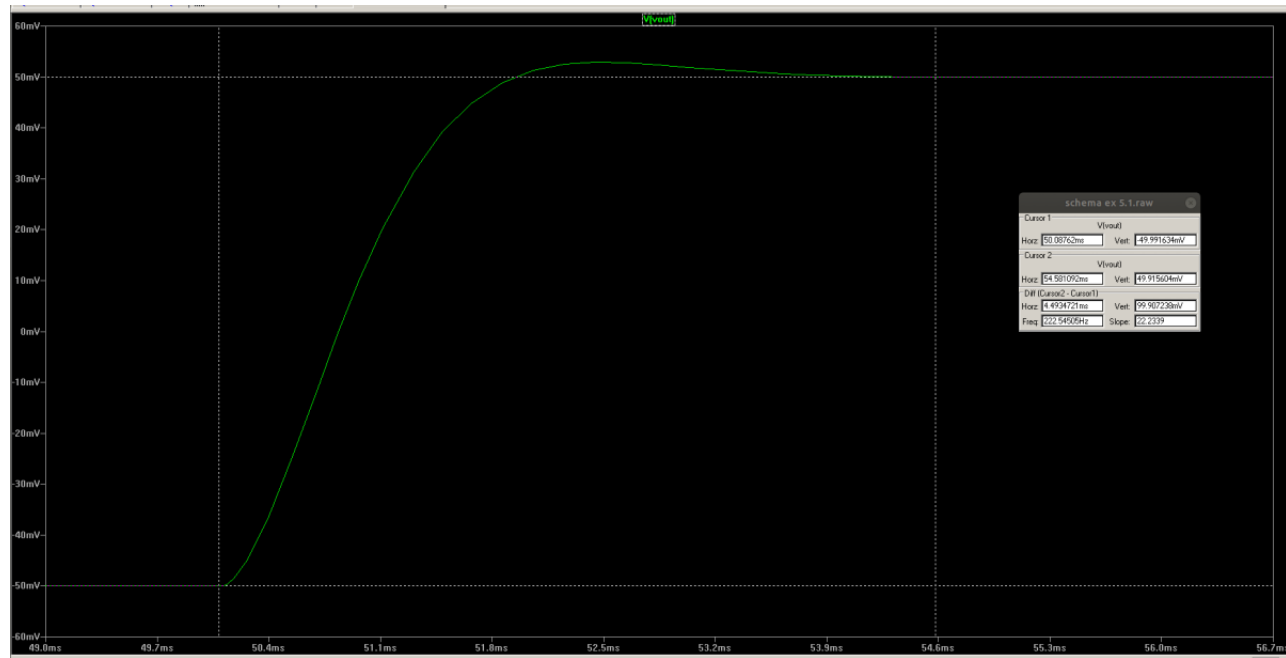
Pentru validarea calculelor am folosit o simulare de tip AC, iar frecvența rezultată este 298.90Hz.



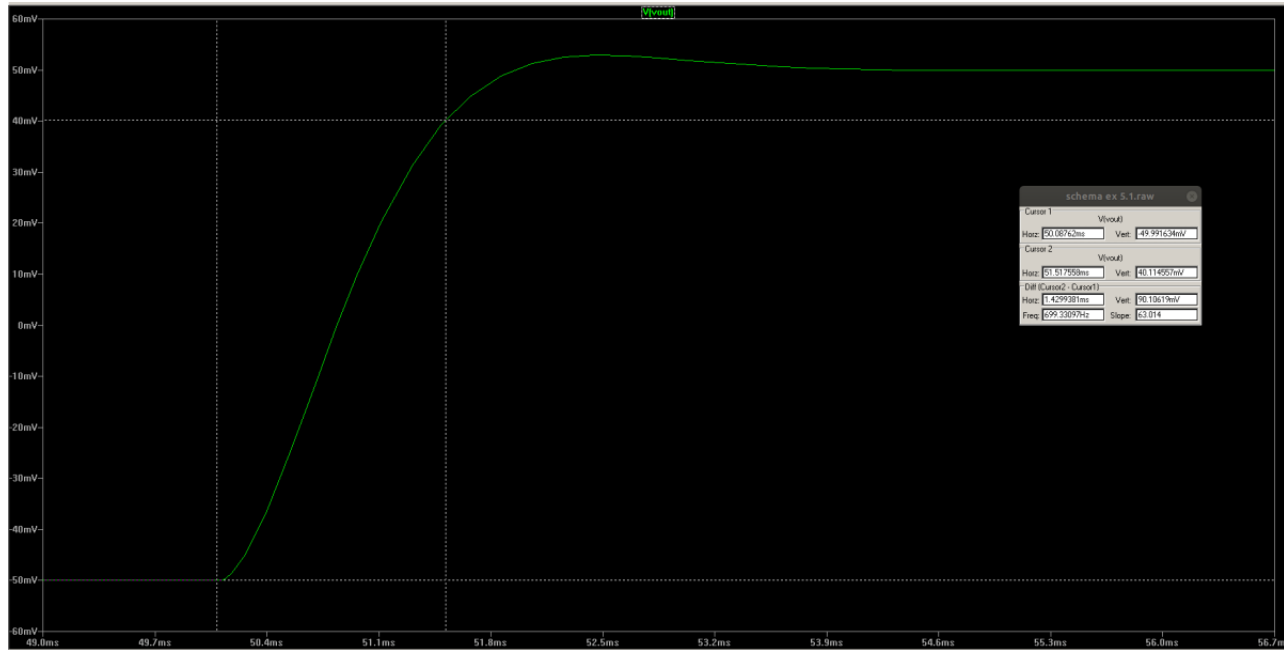
Eroarea este de $(1 - \frac{298.90}{300}) * 100 = 0.36\%$, mai mică de 10%.
Intervalul de liniaritate este $[-97.41\text{mV}, 97.41\text{mV}]$.



Amplitudinea variază, conform graficului și poziționării celor 2 cursoare între -50mV și 50mV .



Deci $V_{ppout} = 50\text{mV} - (-50)\text{mV} = 100\text{mV}$.
 $0.9 * V_{pp} = 90\text{mV}$.
 $V_{io} = -50\text{mV}$
 $V_{90\%} = -50\text{mV} + 90\text{mV} = 40\text{mV}$.



Concluzionăm că timpul de creștere $t_{cr} = 1.43ms$.

Cum frecvența era $f_c = 300Hz$, perioada va fi $T = \frac{1}{f_c}$, deci $T = 0.00333s$.

$$\frac{T}{t_{cr}} = \frac{3.33ms}{1.43ms}$$

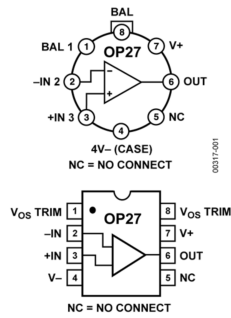
$$\frac{T}{t_{cr}} = 2.33$$

Deci relația dintre timpul de creștere și perioadă este:

$$T = 2.33 * t_{cr}.$$

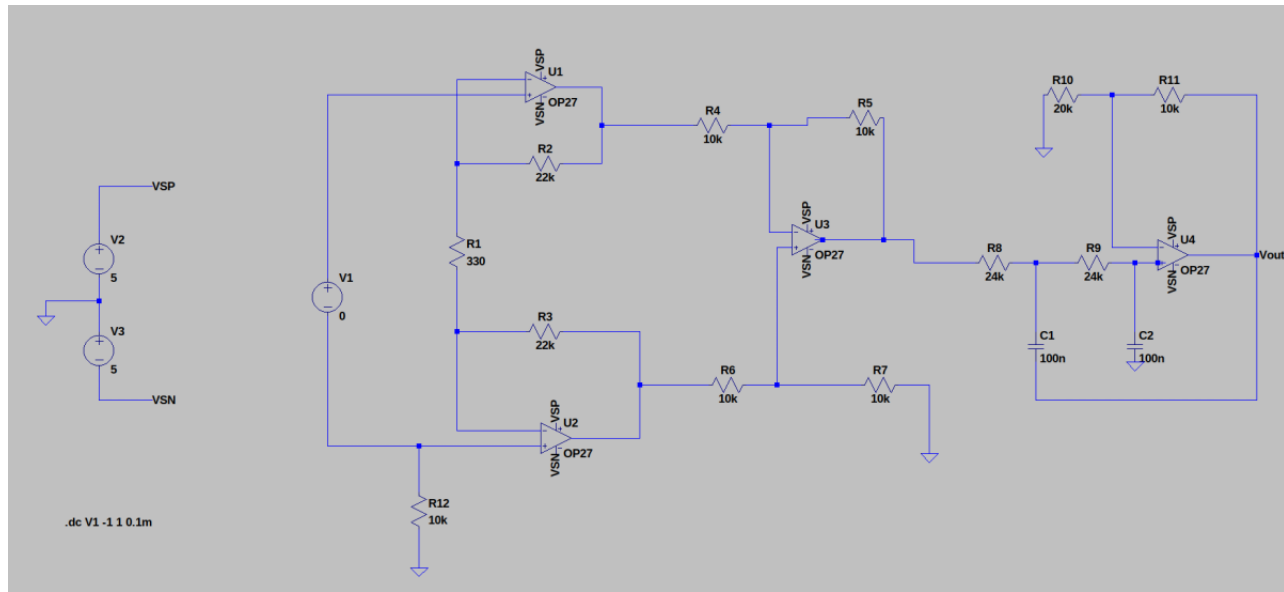
6 Bonus

Am folosit în simulările următoare modelul de amplificator real OP27. Am atașat mai jos schema piesei. Fișa tehnică se găsește la link-ul acesta.



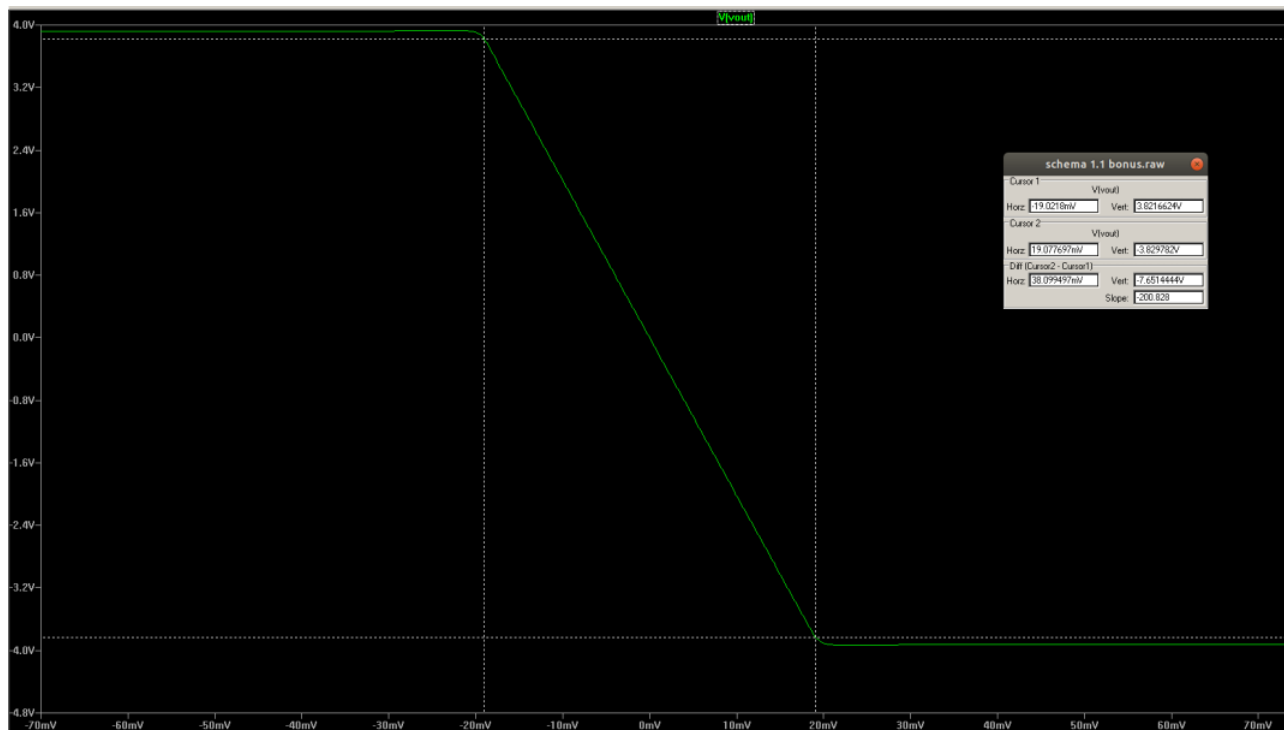
6.1 Schema propusă

Schema modificată a circuitului este atașată mai jos.



6.2 Caracteristica de transfer a schemei

Am variat tensiunea între -1V și 1V cu pasul 0.1mV, obținând caracteristica de transfer:



6.3 Domeniul tensiunii de intrare pentru care schema funcționează liniar

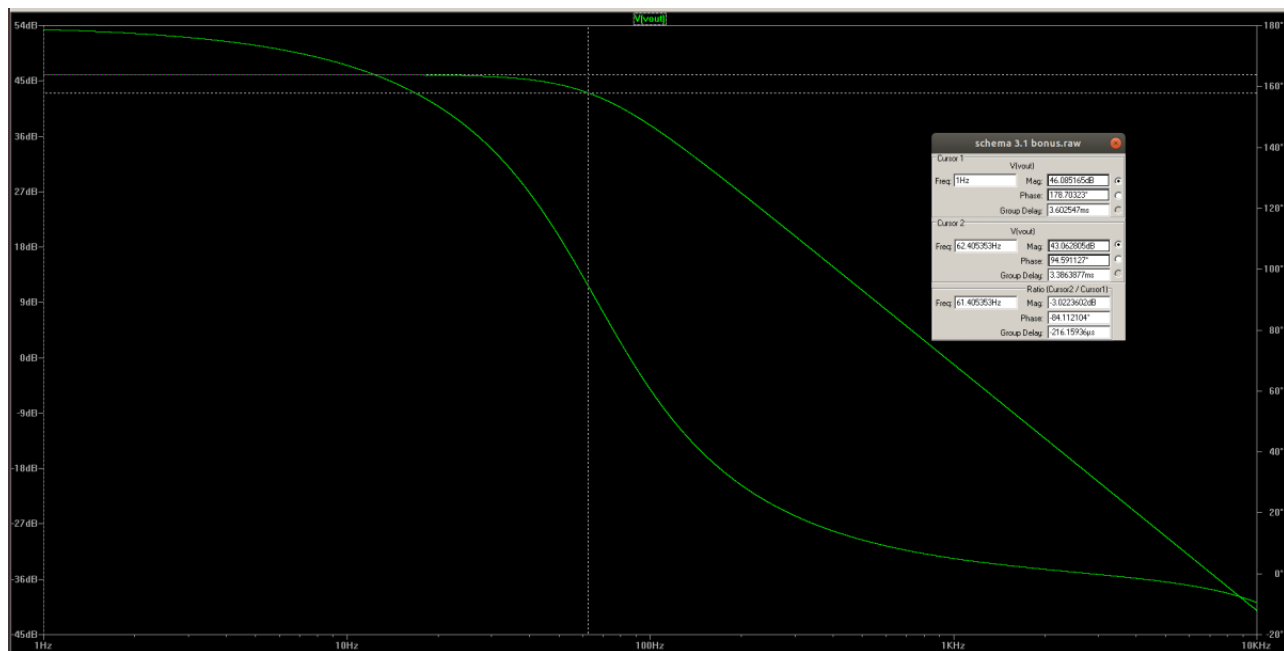
Am adăugat 2 cursoare pe grafic și se observă că zona în care tensiunea de intrare funcționează liniar este intervalul $[-19.02\text{mV}, 19.07\text{mV}]$. Acesta este mai restrâns spre deosebire de intervalul $[-24.26\text{mV}, 24.26\text{mV}]$, pentru amplificatorul ideal, folosit în simulările anterioare.

6.4 Amplificarea de tensiune a schemei

Observăm că panta graficului este -200.828 , aceasta în modul reprezintă factorul de amplificare. Deci factorul de amplificare este aproximativ 200.83 . Comparând această valoare cu cea obținută teoretic, de -201.5 , se obține o eroare de 0.333% , mai mare decât cea de la amplificatorul ideal de 0.025% .

6.5 Caracteristica de frecvență a schemei (suficient modulul amplificării) la scară logaritmică

În urma simulării de tip AC cu frecvența aparținând intervalului $[1, 100\text{k}]$ Hz se obține caracteristica de frecvență de mai jos:



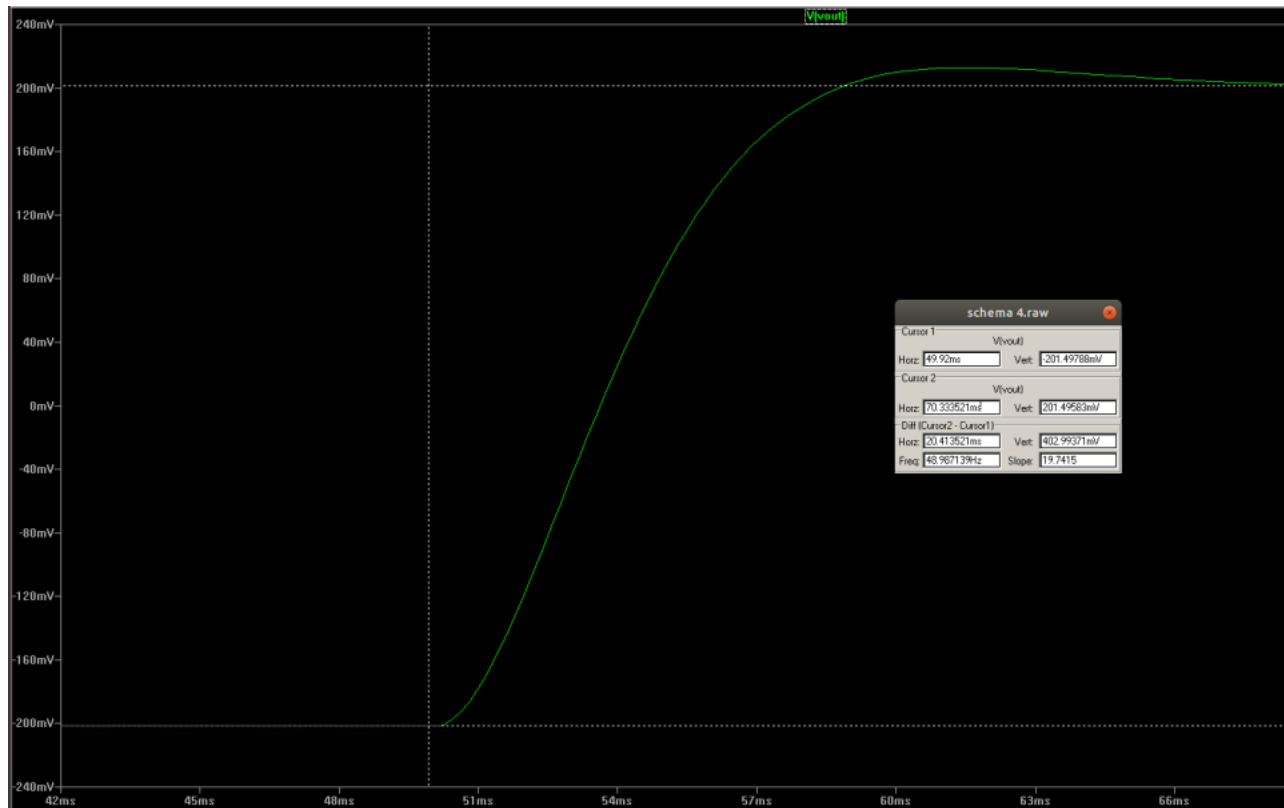
6.6 Banda de trecere a schemei (fiind de tip filtru trece-jos, este egală cu frecvența de -3dB).

Din schema anterioară banda de trecere este egală cu frecvența de tăiere și este 62.405Hz, rezultat ce diferă de cel obținut anterior (62.41 Hz) cu 0.008%.

6.7 Simulare Transient

6.8 Răspunsul la semnal tip treaptă, la o scală de timp potrivită pentru a observa fenomenul tranzitoriu

Am realizat o simulare de tip transient timp de 200ms cu următoarele intrări: tensiunea inițială: -1mV, tensiune on: 1mV, întârziere: 100us, timp de creștere: 5ns, timp de descreștere: 5 ns, timp on: 50ms, durata perioadei: 100ms, 2 cicluri.



6.9 Timpul de creștere (intervalul de la începutul fenomenului tranzitoriu până la parcurgerea a 90% din amplitudinea vârf-la-vârf a ieșirii)

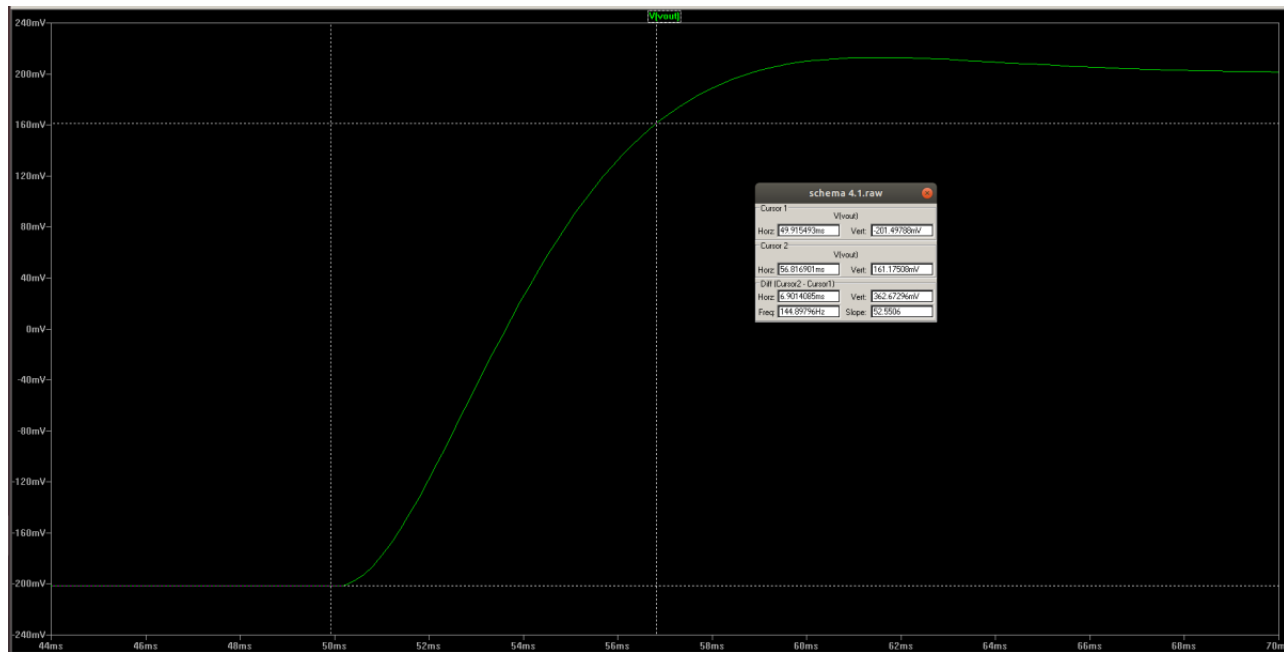
Amplitudinea variază, conform graficului și poziționării celor 2 cursoare între -201.498mV și 201.495mV .

Deci $V_{pp_{out}} = 201.49\text{mV} - (-201.50)\text{mV} = 402.99\text{mV}$.

$0.9 * V_{pp} = 362.693\text{mV}$.

$V_{io} = -201.50\text{mV}$

$V_{90\%} = -201.50\text{mV} + 362.69\text{mV} = 161.195\text{mV}$, spre deosebire de 161.25mV .



Concluzionăm ca timpul de creștere $t_{cr} = 6.90\text{ms}$, spre deosebire de 6.82ms .

Cum frecvența era $f_c = 62.405\text{Hz}$, perioada va fi $T = \frac{1}{f_c}$, deci $T = 15.28\text{ms}$, mai mică decât 16.02ms , cea anterioară.

$$\frac{T}{t_{cr}} = \frac{15.28\text{ms}}{6.90\text{ms}}$$

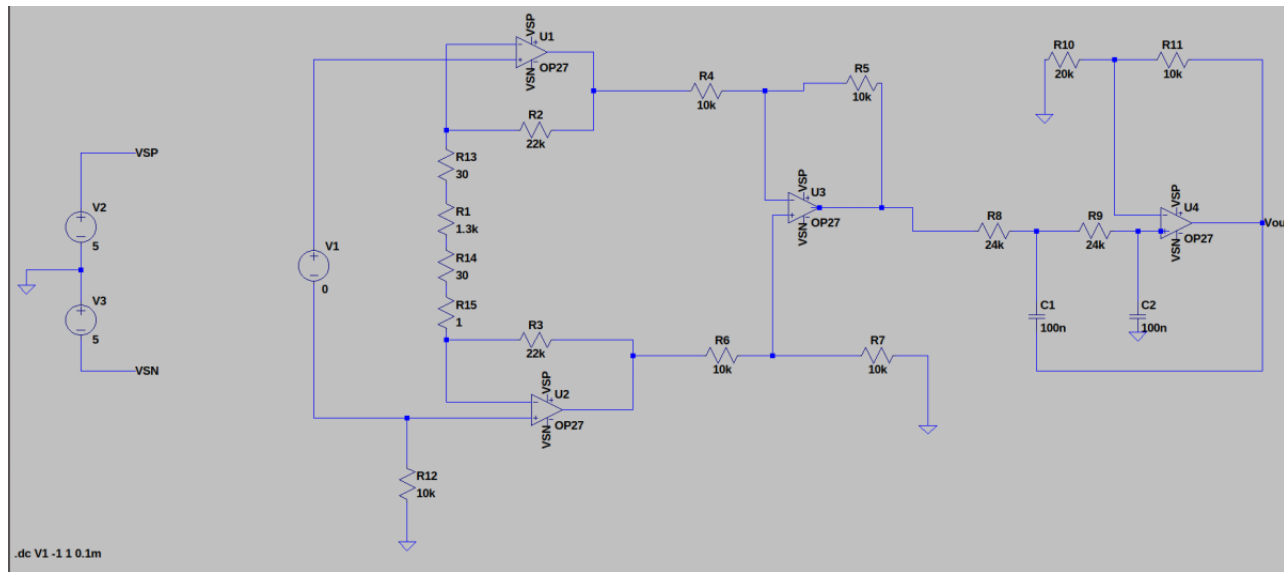
$$\frac{T}{t_{cr}} = 2.21$$

Deci relația dintre timpul de creștere și perioadă este:

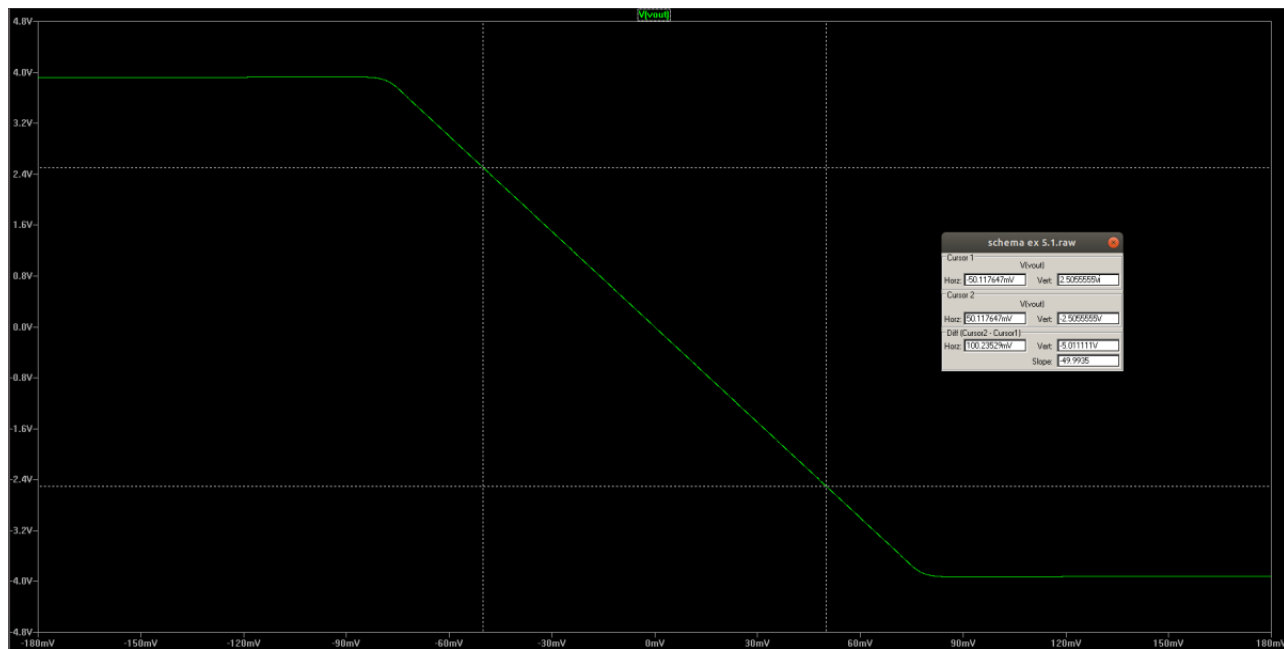
$$T = 2.21 \cdot t_{cr}$$

6.10 Schema trebuie să transfere domeniul de intrare specificat $(-V_{im}, +V_{im})$ în domeniul de ieșire specificat $(-V_{om}, +V_{om})$

Folosind valorile rezistențelor calculate anterior schema obținută este următoarea:



Refac simularea de tip .dc și se observă cum schema transferă domeniul de intrare (-50.11mV, 50.11mV) în (-2.50V, 2.50V) cu o amplificare de 49.99, față de 50.02, obținută anterior. Astfel, eroarea de la amplificare este de 0.02% este mai mică decât cea anterioară, de 0.04% și sub 5%.

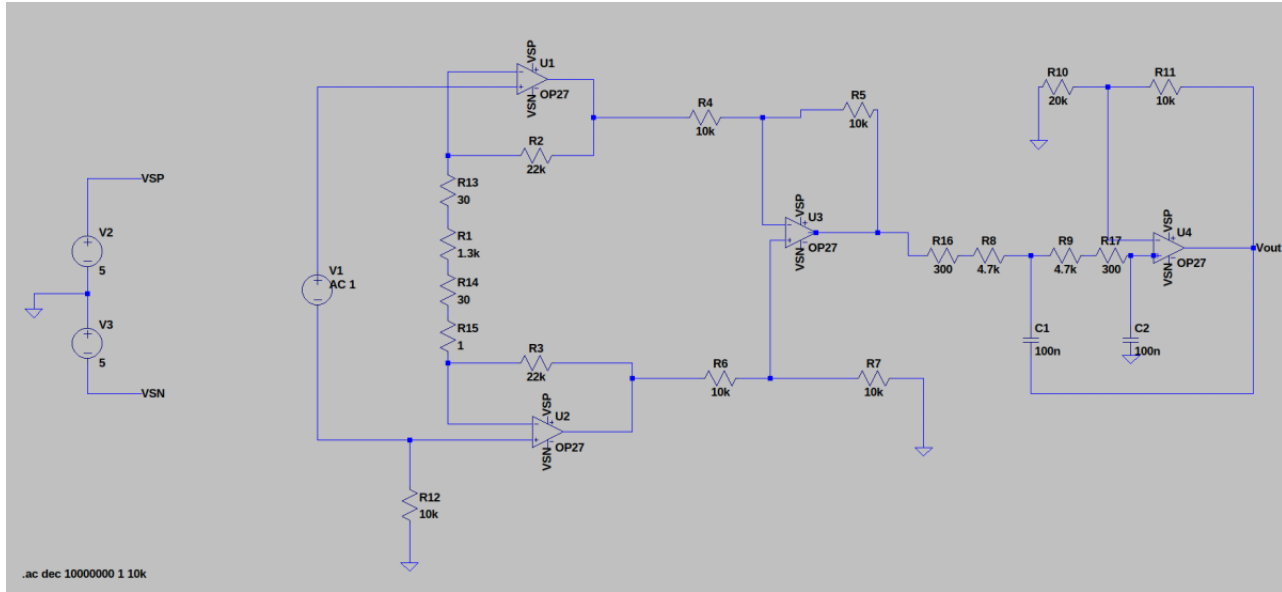


6.11 Schema trebuie să aibă frecvența de -3dB specificată

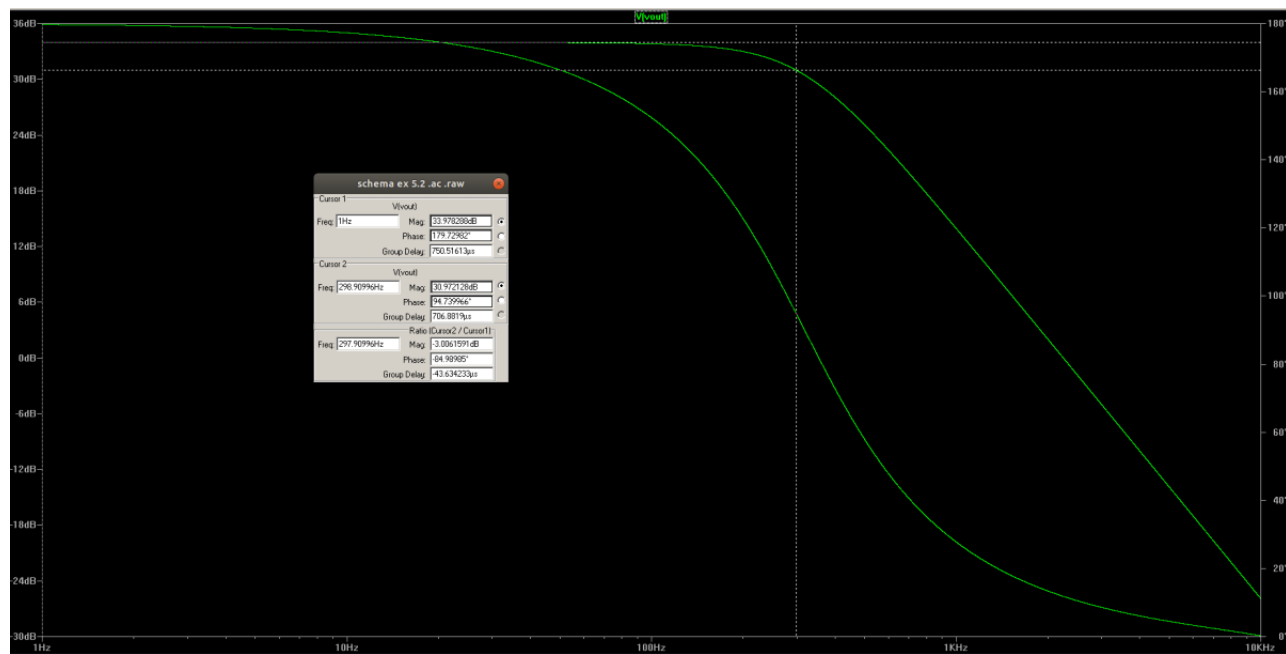
Frecvența de bandă ce trebuie obținută este $f_c = 300\text{Hz}$. Frecvența caracteristică inițială (de la punctul 3.2) este $f_c = 62.405\text{Hz}$.

$$\frac{f'_c}{f_c} = \frac{300\text{Hz}}{62.405\text{Hz}}. \text{ Deci } \frac{f'_c}{f_c} = 4.80$$

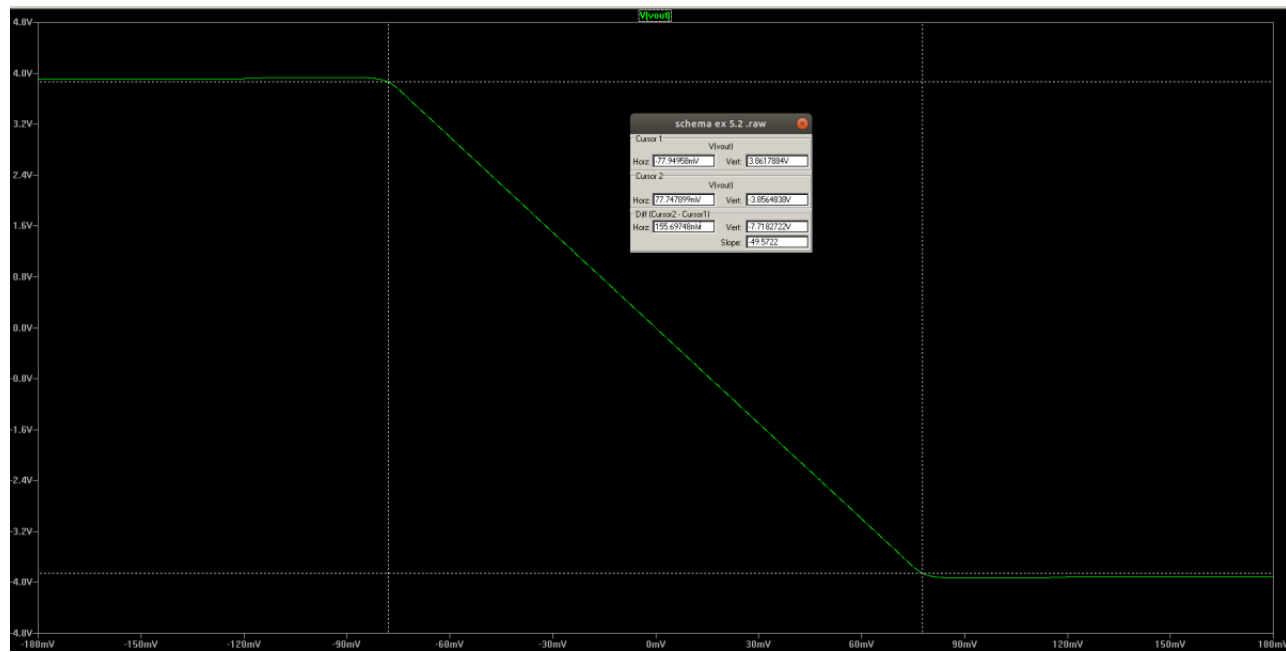
Ținând cont de calculele anterioare pentru modificarea rezistențelor se obține schema:



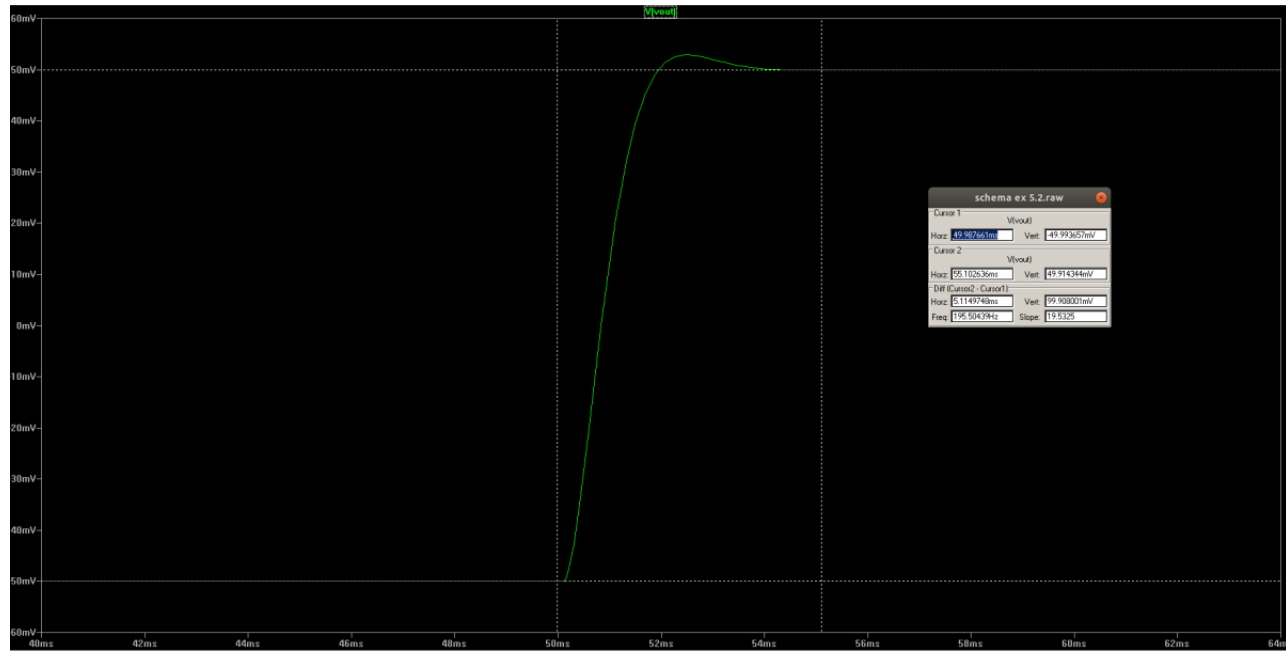
Pentru validarea calculelor am folosit o simulare de tip AC, iar frecvența rezultată este 298.91Hz, față de 298.90Hz, din cazul ideal, cu o eroare de 0.363%, față de rezultatul dorit de 300Hz, mai mică decât 10% totuși.



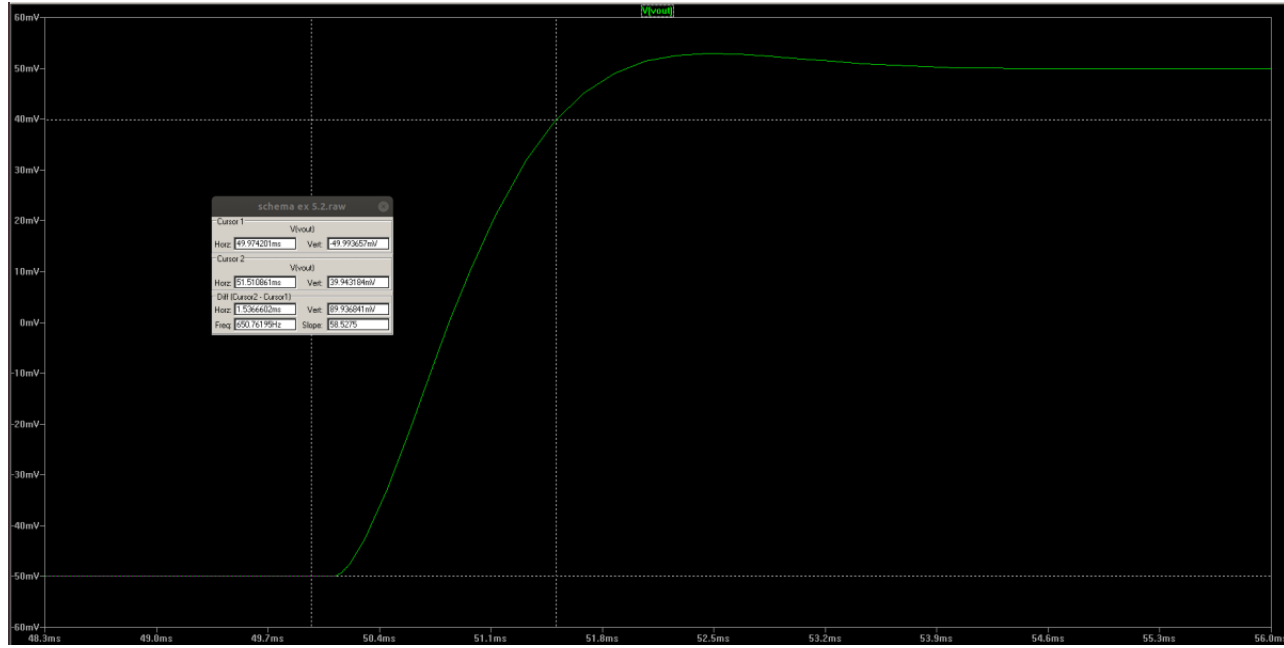
Intervalul de liniaritate este $[-77.95\text{mV}, 77.75\text{mV}]$, cu mult mai restrâns față de $[-97.41\text{mV}, 97.41\text{mV}]$.



Amplitudinea variază, conform graficului și poziționării celor 2 cursoare între -50mV și 49.91mV , aproximativ identic cu anteriorul -50mV și 50mV .



$$\begin{aligned} \text{Deci } V_{pp_{out}} &= 49.91\text{mV} - (-50)\text{mV} = 99.91\text{mV}. \\ 0.9 * V_{pp} &= 89.91\text{mV}. \\ V_{i_o} &= -50\text{mV} \\ V_{90\%} &= -50\text{mV} + 89.91\text{mV} = 39.91\text{mV} \approx 39.92\text{mV}. \end{aligned}$$



Concluzionăm că timpul de creștere $t_{cr} = 1.54\text{ms}$, mai mare decât anteriorul 1.43ms .

Cum frecvența era $f_c = 300\text{Hz}$, perioada va fi $T = \frac{1}{f_c}$, deci $T = 0.00333\text{s}$.

$$\frac{T}{t_{cr}} = \frac{3.33\text{ms}}{1.54\text{ms}}$$

$$\frac{T}{t_{cr}} = 2.16$$

Deci relația dintre timpul de creștere și perioadă este:

$$T = 2.16 * t_{cr}, \text{ față de } T = 2.33 * t_{cr}.$$

7 Concluzii finale

- Amplificarea obținută în simulator, unde sunt folosite modele de componente ce se apropie de cele reale, diferă de valoarea teoretică, cu 0.025% , respectiv 0.333% . Acest lucru se datorează faptului că în simulator amplificarea în buclă deschisă este finită și sunt luate în considerare și alte neidealități ale componentelor.
- Se observă cum schema transferă domeniul de intrare (-50mV , 50mV) în (-2.50V , 2.50V) cu o eroare de 0.04% din cauza factorului $\frac{1}{A_{OL}}$, care în mod ideal era 0 .

- Se observă faptul că amplificatoarele au caracteristică rail-to-rail.
- Se observă faptul că pentru un amplificator operațional neidealizat, adică unul real, obținem aproximativ aceeași parametri.
- Cele 2 amplificatoare operaționale prezintă rezultate ale simulărilor apropiate, dar domeniul de liniaritate este mai restrâns, în cazul lui OP27, având o perioadă mai mică și un timp de creștere mai mare.
- După remodelarea circuitului la cerința 5, sunt introduse erori suplimentare, datorate valorilor teoretice ale rezistențelor, vrând să se respecte standardul E24.