

Proiect

- la disciplina Elemente de Electronică Analogică -

Răduță Lavinia-Maria

323CA

Facultatea de Automatică și Calculatoare

Universitatea POLITEHNICA București

lavinia.raduta@stud.acs.upb.ro

Ianuarie 2022

Cuprins

1	Analiza circuitului	3
1.1	Realizarea schemei	3
1.2	Simularea de tip DC Sweep	3
1.2.1	Caracteristica de transfer	3
1.2.2	Domeniul de liniaritate	3
1.2.3	Amplificarea de tensiune	4
1.2.4	Rezultate teoretice	4
1.3	Simularea de tip AC Analysis	5
1.3.1	Caracteristica de frecvență	5
1.3.2	Banda de lucru	5
1.4	Simularea de tip Transient	5
1.4.1	Răspunsul la semnal tip treaptă	5
1.4.2	Timpul de creștere	6
2	Proiectarea circuitului	7
2.1	Modificarea domeniului intrare/ieșire	7
2.2	Modificarea frecvenței de -3dB	9
2.3	Modificarea sursei VSN	12
2.4	Modificarea sursei VSP	14
2.5	Detectarea depășirii a 80% din domeniu	16
3	Concluzii finale	17

Cu ajutorul cursoroarelor plasate pe grafic putem observa că domeniul de intrare pentru care schema se comportă liniar este aproximativ $\pm 49.9mV$.

De asemenea, se observă că domeniul de ieșire pentru care schema se comportă liniar este aproximativ $\pm 4.91V$.

1.2.3 Amplificarea de tensiune

Amplificarea de tensiune a schemei (pentru semnale foarte lent variabile) este reprezentată de panta graficului. Din grafic se observă că valoarea amplificării este $A = -98.53$.

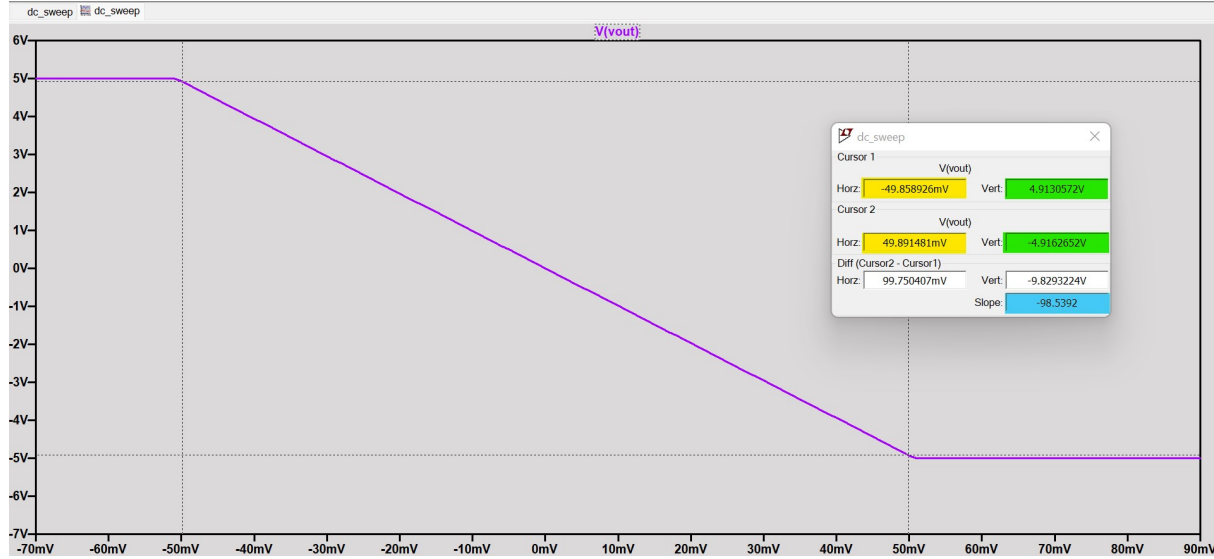


Figura 2: Caracteristica de transfer a schemei

Galben: Domeniul de intrare

Verde: Domeniul de ieșire

Albastru: Amplificarea de tensiune

1.2.4 Rezultate teoretice

Din punct de vedere practic, tensiunea de ieșire nu poate depăși tensiunile de alimentare, intervalul (VSN, VSP), adică $\pm 5V$, fapt care se observă și din grafic tensiunea de ieșire fiind limitată la $4.91V$ în zona liniară.

Amplificarea de tensiune (diferențială) este descrisă teoretic de formula:

$$A = \frac{\Delta V_o}{\Delta V_i} = \left(1 + \frac{R_2 + R_3}{R_1}\right) \cdot \left(-\frac{R_5}{R_4}\right) \cdot \left(1 + \frac{R_{11}}{R_{10}}\right) \quad (1)$$

Înlocuind valorile în formulă obținem amplificarea teoretică $A_{teoretic} = -98.56$, valoare foarte apropiată de cea obținută din grafic, eroarea fiind de doar -0.0304% .

Aceste diferențe apar din faptul că piesele folosite sunt reale, iar curenții de intrare în amplificatoarele operaționale nu sunt chiar 0 (sunt maxim de ordinul zecilor de nA) și apar astfel mici căderi de tensiune.

1.3 Simularea de tip AC Analysis

1.3.1 Caracteristica de frecvență

Rulând simularea se obține următoarea caracteristică de frecvență:

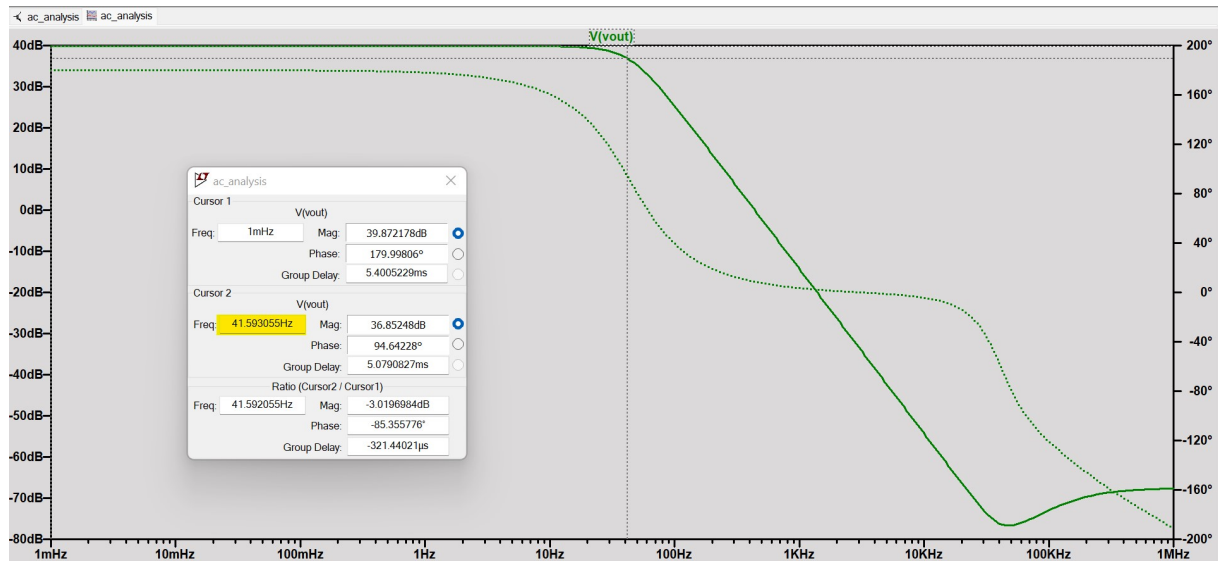


Figura 3: Caracteristica de frecvență a schemei
Galben: Frecvența de tăiere

1.3.2 Banda de lucru

Pentru a afla banda de trecere a schemei am setat primul cursor în partea cea mai din stânga a graficului, iar al doilea cursor l-am setat în punctul în care am observat că amplificarea a scăzut cu 3dB. Astfel putem concluziona că banda de trecere a schemei este de la frecvența minimă, 0Hz la frecvența de -3dB, 41.6Hz

1.4 Simularea de tip Transient

1.4.1 Răspunsul la semnal tip treaptă

Perioada corespunzătoare frecvenței de tăiere este

$$T = \frac{1}{f_{\text{frecv taiere}}} = \frac{1}{41.6} = 0.024s = 24ms \quad (2)$$

Am rulat simularea pentru un interval total de timp de 240ms (de aproximativ 10 ori mai mare decât perioada corespunzătoare frecvenței de -3dB), cu un puls de tensiune de 1mV.

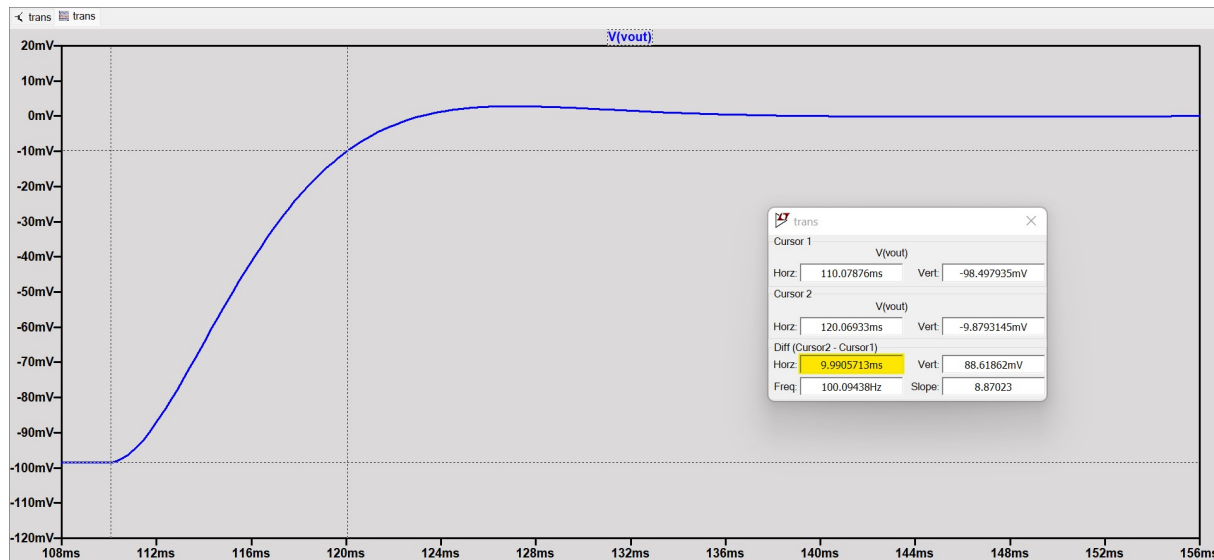


Figura 4: Răspunsul schemei la semnal de tip treaptă
Galben: timpul de creștere

1.4.2 Timpul de creștere

Pentru aflarea timpului de creștere trebuie să plasăm primul cursor la începutul fenomenului tranzitoriu, iar cel de-al doilea cursor trebuie plasat în punctul în care s-a ajuns la 90% din amplitudinea maximă în regim stabil. Se observă că pe grafic există o porțiune în care tensiunea crește pentru puțin timp mai mult decât valoarea maximă, porțiune pe care nu o considerăm când căutăm poziția celui de-al doilea cursor.

Tensiunea de ieșire parcurge astfel intervalul $[-98.5, 0]$ mV, deci 98.5mV. 90% din această valoare înseamnă 88.65mV \Rightarrow s-a parcurs 90% când valoarea tensiunii ajunge -9.85mV.

Se observă astfel din grafic că valoarea timpului de creștere este de 9.99ms. Corelația între perioada corespunzătoare frecvenței de -3dB și timpul de creștere este că timpul de creștere este de aproximativ 2.4 ori mai mic decât perioada specifică frecvenței de -3dB.

2 Proiectarea circuitului

2.1 Modificarea domeniului intrare/ieșire

Conform valorii personalizate:

- Domeniul de intrare: $V_{im} = \pm 20mV$
- Domeniul de ieșire: $V_{om} = \pm 2.5V$

Folosind din nou formula 1 calculez noua valoare a rezistenței R_1 pentru noile domenii de intrare și de ieșire.

$$A = \frac{\Delta V_o}{\Delta V_i} = \frac{2.5 - (-2.5)}{(20 - (-20)) \cdot 10^{-3}} = \frac{5 \cdot 10^3}{40} = 125$$

$$125 = \left(1 + \frac{44 \cdot 10^3}{R_1}\right) \cdot \left(1 + \frac{1 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^3}\right)$$

$$125 = \frac{3}{2} \cdot \frac{R_1 + 44 \cdot 10^3}{R_1}$$

$$250 \cdot R_1 = 3R_1 + 3 \cdot 44 \cdot 10^3$$

$$R_1 = \frac{132 \cdot 10^3}{247} = 0.5344 \cdot 10^3 \Omega$$

$$R_1 = 534.4 \Omega$$

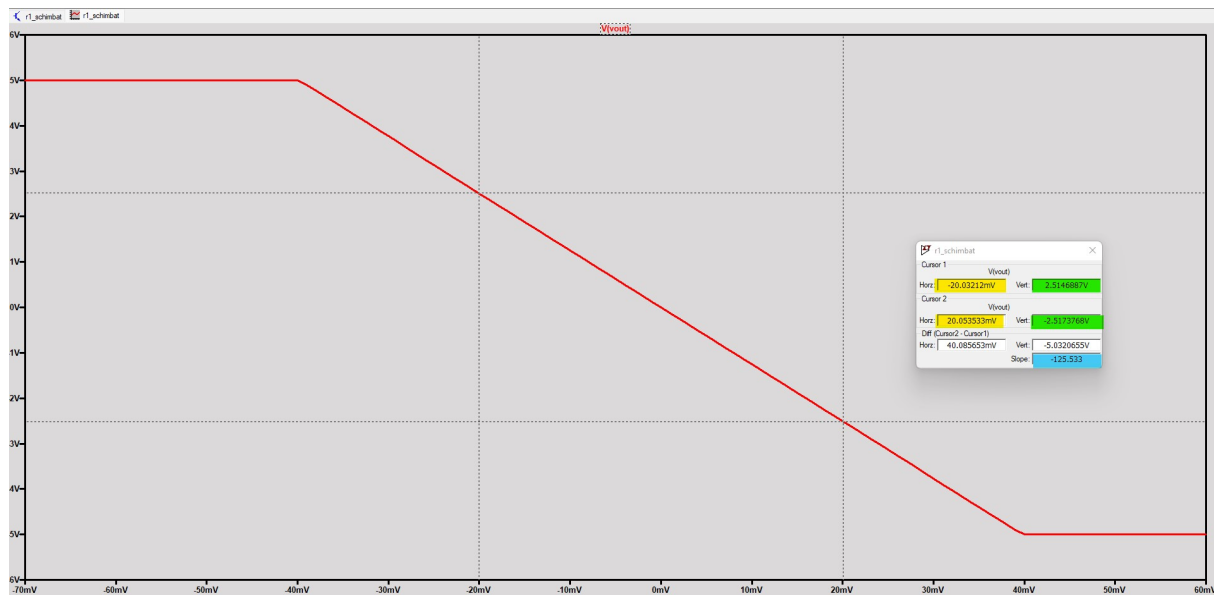
Valoarea găsită nu este standard. Pentru a avea o eroare cât mai mică voi înlocui rezistorul R_1 cu 2 rezistoare înseriate, suma acestor rezistențe fiind cât mai apropiată de cea calculată. Cele mai apropiate valori standard (E24) pe care le am găsit sunt $R_{1a} = 470 \Omega$ și $R_{1b} = 62 \Omega$.

Am realizat o simulare DC Sweep pentru aceste valori pentru a observa zona liniară. Se observă că schema funcționează pe un domeniu mai larg, domeniul de ieșire fiind limitat de valorile tensiunilor de alimentare ($\pm 5V$). Cu ajutorul cursorilor se poate vedea totuși ca zona liniară cuprinde și segmentul definit de valorile alese.

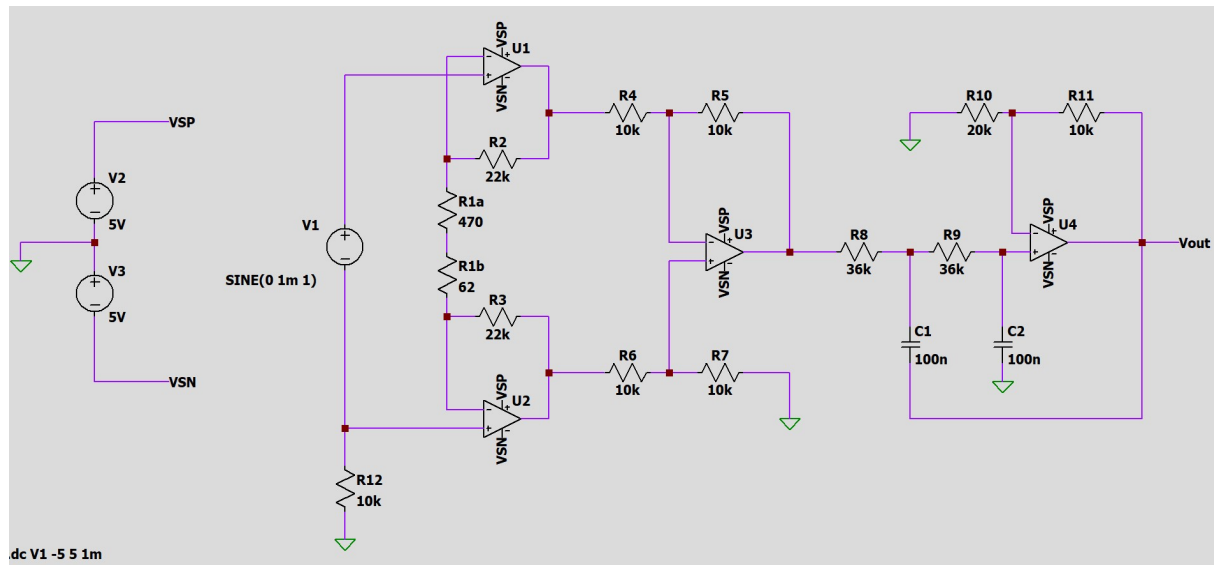
Rezultatele simulării au fost următoarele:

- pentru $R_1 = R_{1a} + R_{1b} = 532 \Omega$, $V_{im} = \pm 20mV$ și $V_{om} = \pm 2.51V \implies$ eroarea pentru domeniul de ieșire este de $\pm 0.4\%$

Panta graficului, care reprezintă amplificarea confirmă din nou alegerea corectă a valorii rezistenței. Pentru $R_1 = 532 \Omega$, amplificarea este 125.53, cu o eroare de 0.42% față de valoarea calculată teoretic.



(a) Caracteristica de transfer $R_1 = R_{1a} + R_{1b} = 532\Omega$



(b) Caracteristica de transfer $R_1 = R_{1a} + R_{1b} = 532\Omega$

Galben: Domeniul de intrare
Verde: Domeniul de ieșire
Albastru: Amplificarea de tensiune

2.2 Modificarea frecvenței de -3dB

Am realizat din nou o simulare de tip AC Analysis pentru a determina frecvența de -3dB pentru noua valoare a rezistenței $R_1 = 532\Omega$.

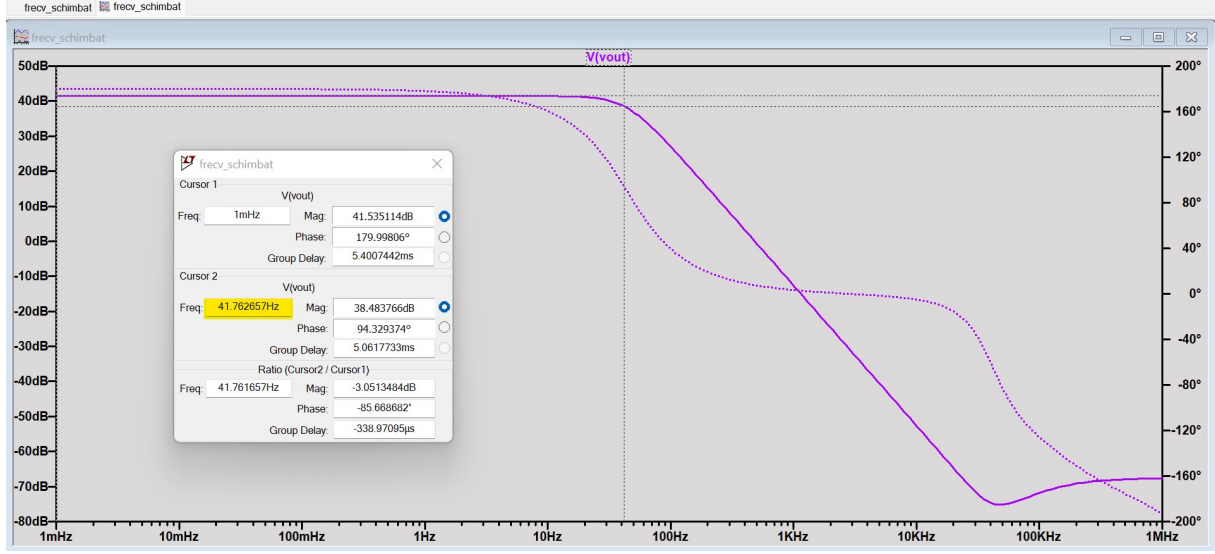


Figura 6: Caracteristica de frecvență a schemei cu $R_1 = 532\Omega$

Frecvența inițială este deci aproximativ 41.8Hz, iar noua frecvență trebuie să devină 300Hz, conform cerinței.

Cunoaștem faptul că frecvența de -3dB a filtrului este proporțională cu

$$\frac{1}{\sqrt{R_8 \cdot R_9 \cdot C_1 \cdot C_2}} \quad (3)$$

Putem considera deci:
$$\begin{cases} f_{initial} = k_i \cdot \frac{1}{\sqrt{R_{8i} \cdot R_{9i} \cdot C_{1i} \cdot C_{2i}}} \\ f_{modif} = k_m \cdot \frac{1}{\sqrt{R_{8m} \cdot R_{9m} \cdot C_{1m} \cdot C_{2m}}} \end{cases}$$

Făcând raportul obținem:

$$\frac{f_{initial}}{f_{modif}} = \frac{k_i}{k_m} \cdot \frac{\sqrt{R_{8m} \cdot R_{9m} \cdot C_{1m} \cdot C_{2m}}}{\sqrt{R_{8i} \cdot R_{9i} \cdot C_{1i} \cdot C_{2i}}}$$

Deci raportul frecvențelor este proporțional cu raportul celor 2 radicali. Înlocuind numeric frecvențele ajungem la:

$$\frac{k_i}{k_m} \cdot \frac{\sqrt{R_{8m} \cdot R_{9m} \cdot C_{1m} \cdot C_{2m}}}{\sqrt{R_{8i} \cdot R_{9i} \cdot C_{1i} \cdot C_{2i}}} = \frac{41.8}{300}$$

Dacă alegem, spre exemplu $k_m = k_i$

$$\Rightarrow \sqrt{R_{8i} \cdot R_{9i} \cdot C_{1i} \cdot C_{2i}} = \frac{300}{41.8} \cdot \sqrt{R_{8m} \cdot R_{9m} \cdot C_{1m} \cdot C_{2m}}$$

$$\Rightarrow \sqrt{R_{8i} \cdot R_{9i} \cdot C_{1i} \cdot C_{2i}} \approx 7.17 \cdot \sqrt{R_{8m} \cdot R_{9m} \cdot C_{1m} \cdot C_{2m}}$$

Pentru a satisface condiția, alegem de exemplu valorile:
$$\begin{cases} R_{8m} = \frac{R_{8i}}{7.17} \approx 5k\Omega \\ R_{9m} = \frac{R_{9i}}{7.17} \approx 5k\Omega \end{cases}$$

Valoarea găsită nu este standard. Cele mai apropiate valori standard (E24) pentru rezistențele noastre sunt $4.7k\Omega$ și $5.1k\Omega$.

Am rulat pentru ambele valori simularea de tip AC Analysis pentru a determina în ambele cazuri noua frecvență de -3dB. Rezultatele sunt următoarele:

- pentru $R_8 = R_9 = 4.7k\Omega \Rightarrow f_{-3dB} = 318Hz \rightarrow$ o eroare de 6%
- pentru $R_8 = R_9 = 5.1k\Omega \Rightarrow f_{-3dB} = 294Hz \rightarrow$ o eroare de -2%

Voi alege deci noile valori pentru rezistențe $R_8 = R_9 = 5.1k\Omega$

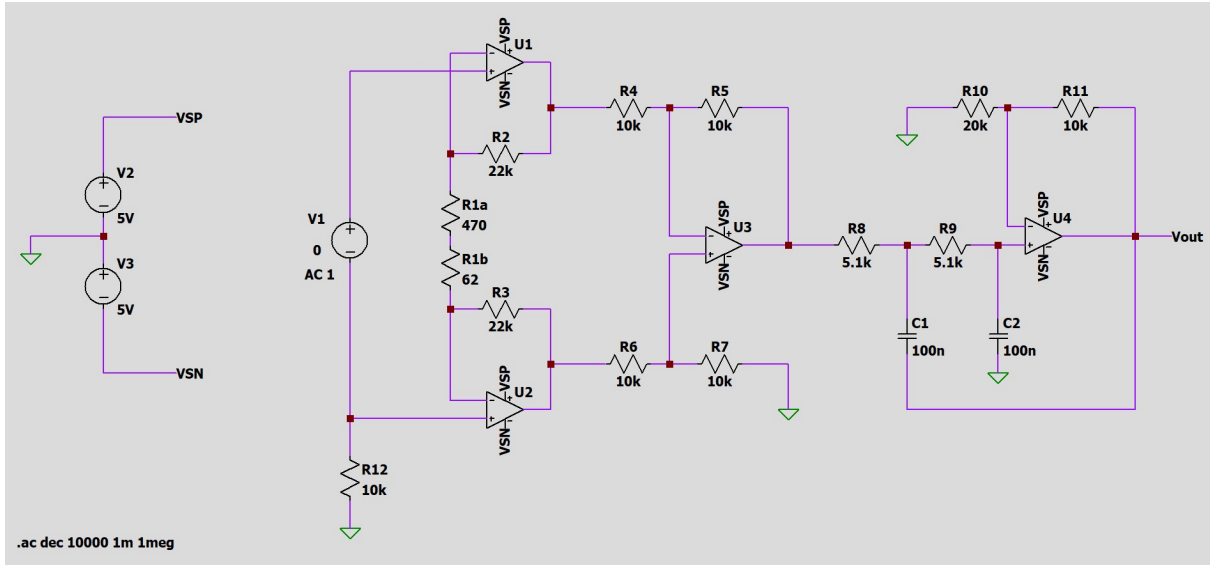
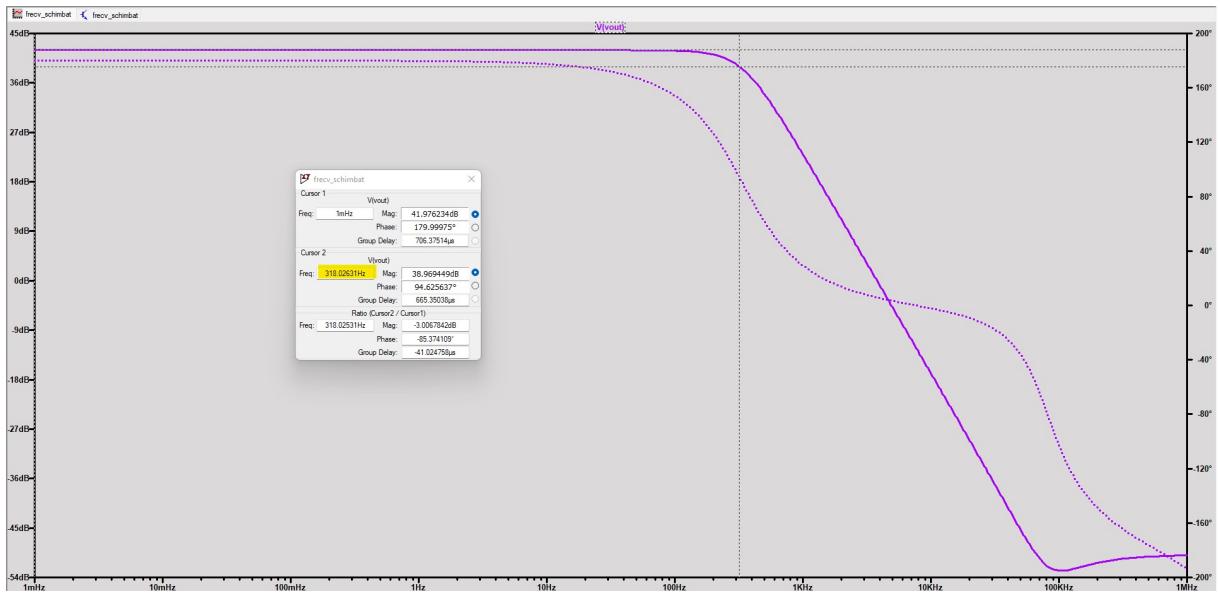
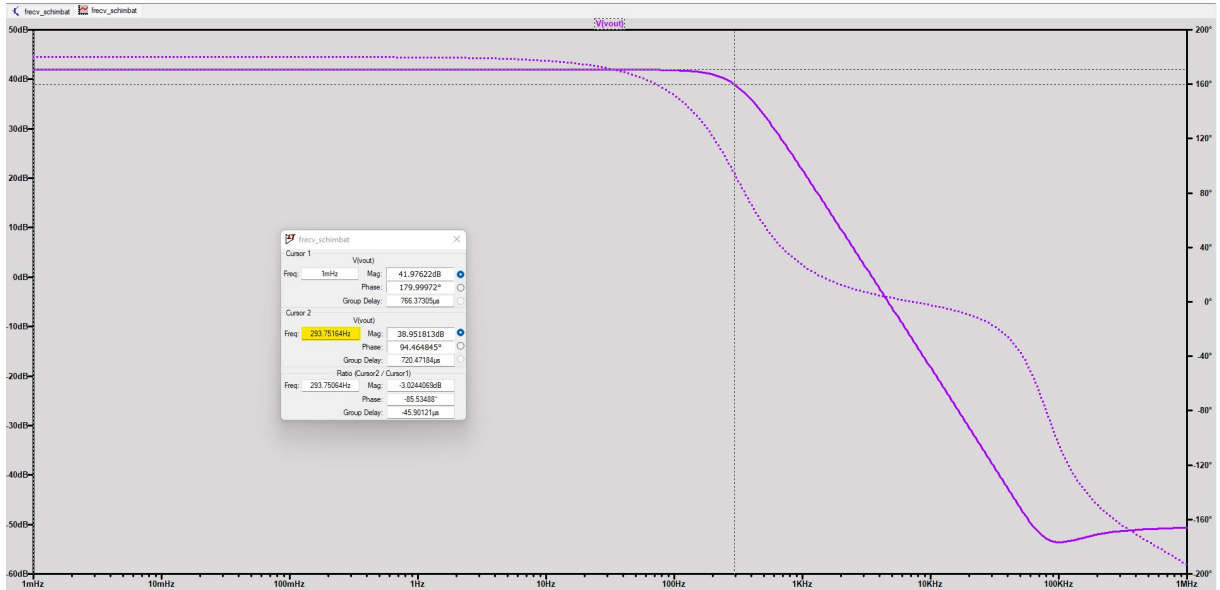


Figura 7: Circuitul după schimbarea $R_8 = R_9 = 5.1k\Omega$



(a) Caracteristica de frecvență a schemei $R_8 = R_9 = 4.7k\Omega$



(b) Caracteristica de frecvență a schemei $R_8 = R_9 = 5.1k\Omega$

Galben: Frecvența de -3dB

2.3 Modificarea sursei VSN

Trebuie să înlocuim sursa V_3 cu un montaj electronic care generează o tensiune de -5V plecând de la o tensiune de 12V, folosind un circuit integrat specializat.

Am decis să folosesc un regulator de tensiune pozitivă sau negativă cu zgomot redus, LT3032-5. Conform datasheet-ului, această piesă trebuie conectată astfel:

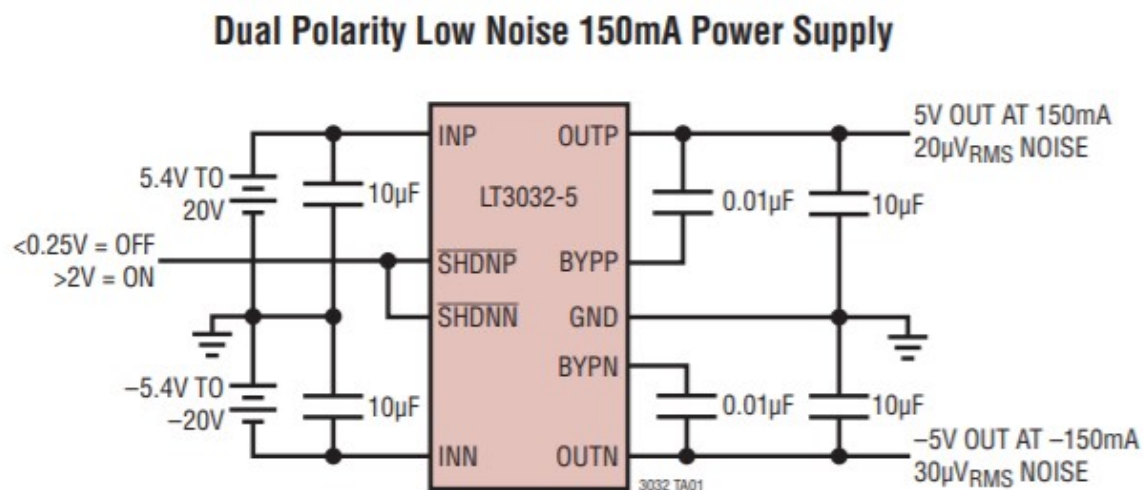


Figura 9: Aplicație tipică LT3032-5. Datasheet

Pentru semnalul de ShutDown am folosit sursa VSP. Pinii pe care nu-i folosesc i-am legat la masă pentru a elimina riscul de interferențe.

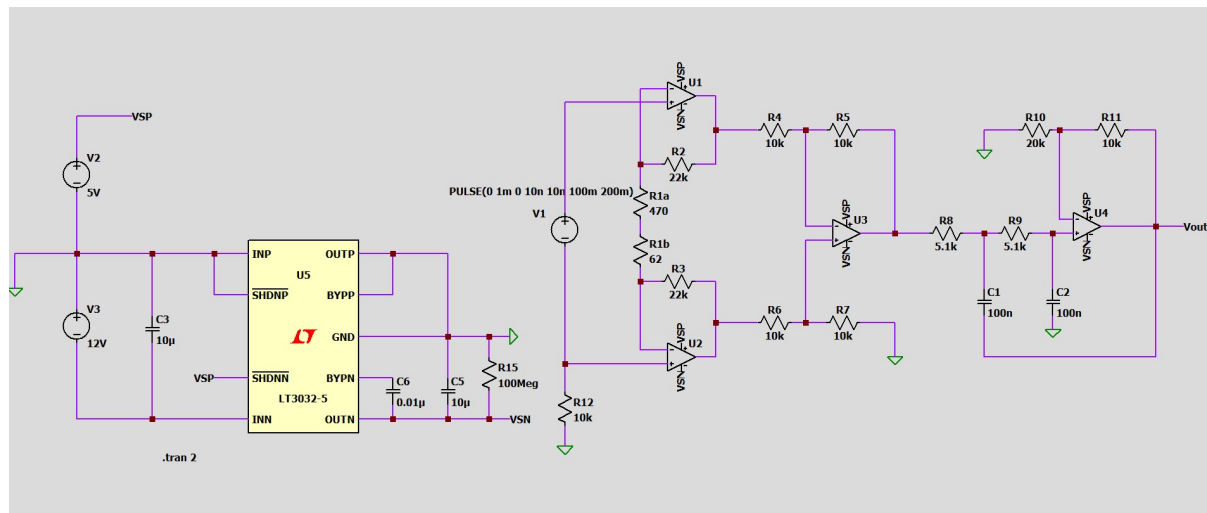
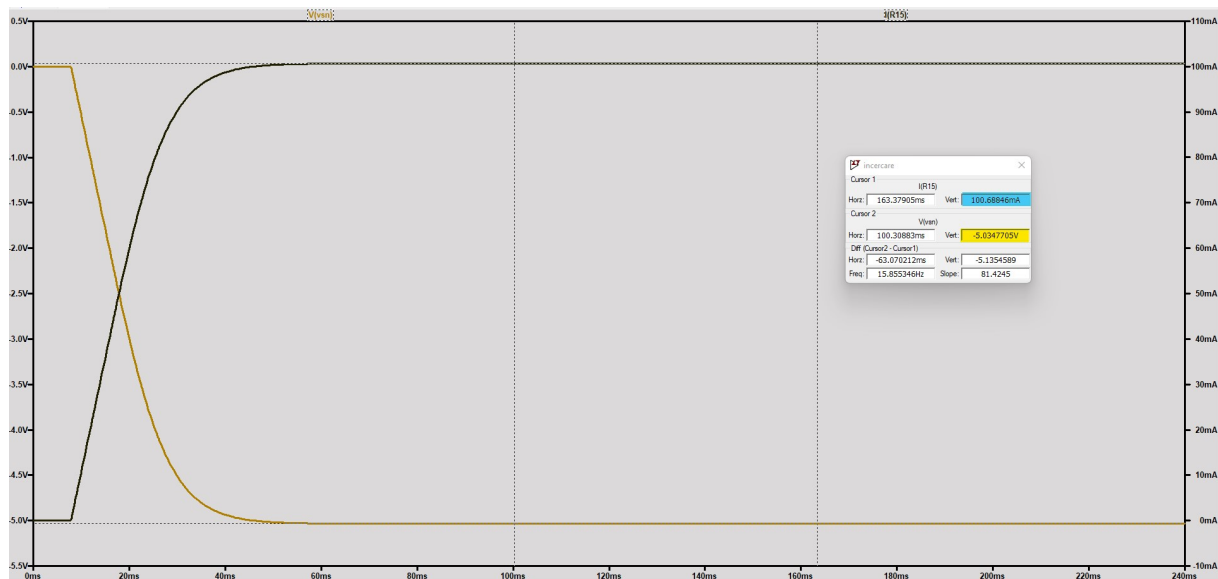
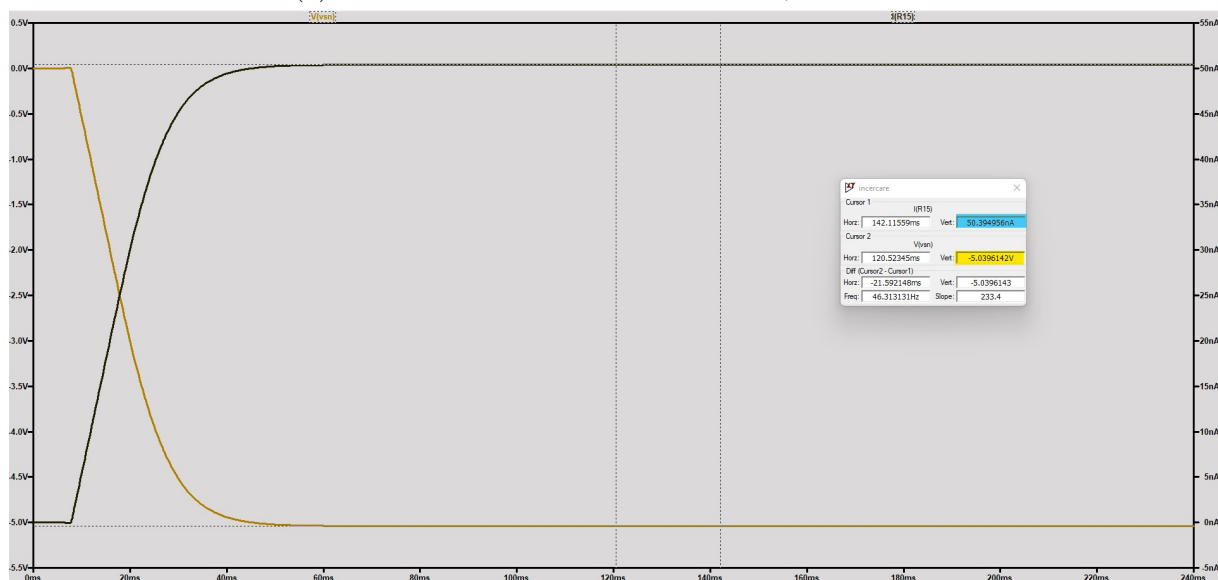


Figura 10: Circuit cu sursa LT3032-5

Pentru testarea output-ului sursei am realizat o simulare de tip Transient. Se observă că sursa se stabilizează la tensiunea de -5.038V . Pentru a verifica că sursa menține tensiunea la ieșire în jurul valorii de -5V pentru curenți între 0 și 100mA am conectat o rezistență de sarcină, R_{15} care ia valorile 50Ω (intensitatea prin aceasta va fi aproximativ 100.7A) și $100M\Omega$ (intensitatea prin aceasta va fi de ordinul nA)



(a) Simulare Transient sursa LT3032-5, $R_{15} = 50\Omega$



(b) Simulare Transient sursa LT3032-5, $R_{15} = 100M\Omega$

Galben: tensiune la care se stabilizează sursa

Albastru: curentul prin rezistența de sarcină

2.4 Modificarea sursei VSP

Trebuie să înlocuim sursa de tensiune V_2 cu un montaj electronic care generează o tensiune de $5V$, având la dispoziție o sursă de tensiune alternativă, de frecvență $50Hz$ și amplitudinea la vârf de $10V$ și doar elemente de circuit discrete.

Am început prin construirea unui redresor bialternanță pentru a transforma curentul alternativ de la sursă în curent continuu, folosind 4 diode de silicon 1N4148 legate simetric și un condensator de filtrare. Tensiunea de ieșire din acest montaj se stabilizează la aproximativ $8.4V$.

Pentru a ajunge la tensiunea de aproximativ $5V$ am construit un montaj sursă parametrică cu element de reglaj în serie, folosind un tranzistor NPN, 2N2222, o dioda Zener BZX84C6V2L cu tensiunea de străpungere de $6.2V$ și o rezistență de reglaj de $R_{13} = 2k\Omega$.

Tensiunea care iese din acest montaj este:

$$U_{out} = U_{strapungere} - U_{BE} \quad (4)$$

$$\Rightarrow U_{out} = 6.2V - 0.7V = 5.5V \in (5, 6)V$$

Pentru diminuarea ripple-ului am mai adăugat un condensator de filtrare.

Pentru a verifica că sursa menține tensiunea la ieșire în jurul valorii de $5V$ pentru curenți între 0 și $100mA$ am conectat o rezistență de sarcină, R_{14} care ia valorile 50Ω (intensitatea prin aceasta $\approx 100mA$) și $100M\Omega$ (intensitatea prin aceasta $\approx 50nA$).

Rezultatul ecuației 4 este confirmat și de simularea pentru $R_{14} = 100M\Omega$.

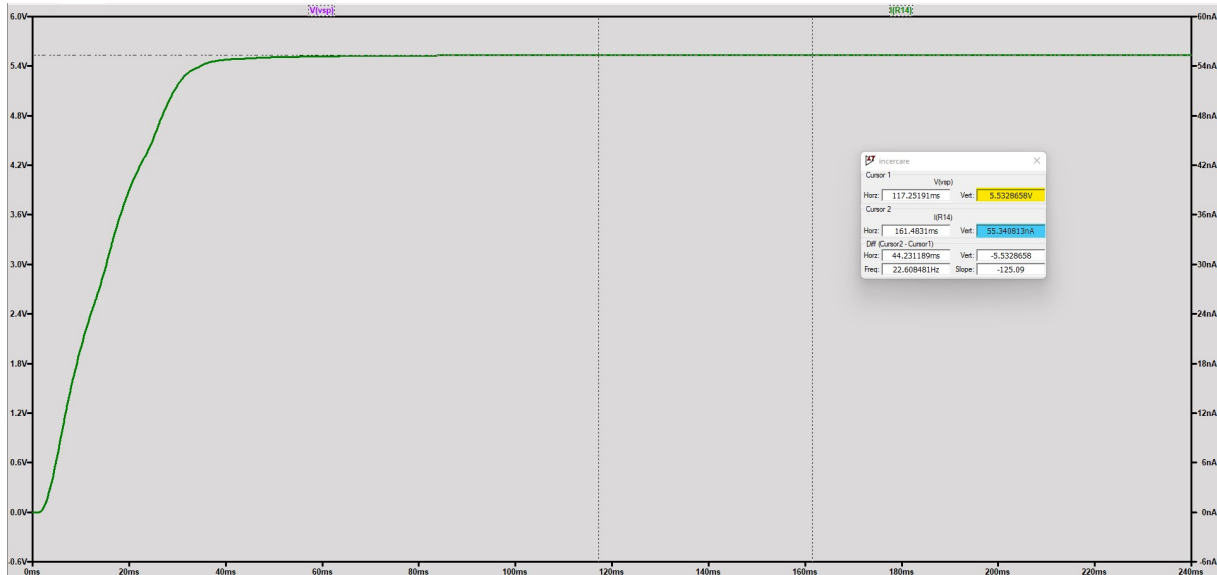
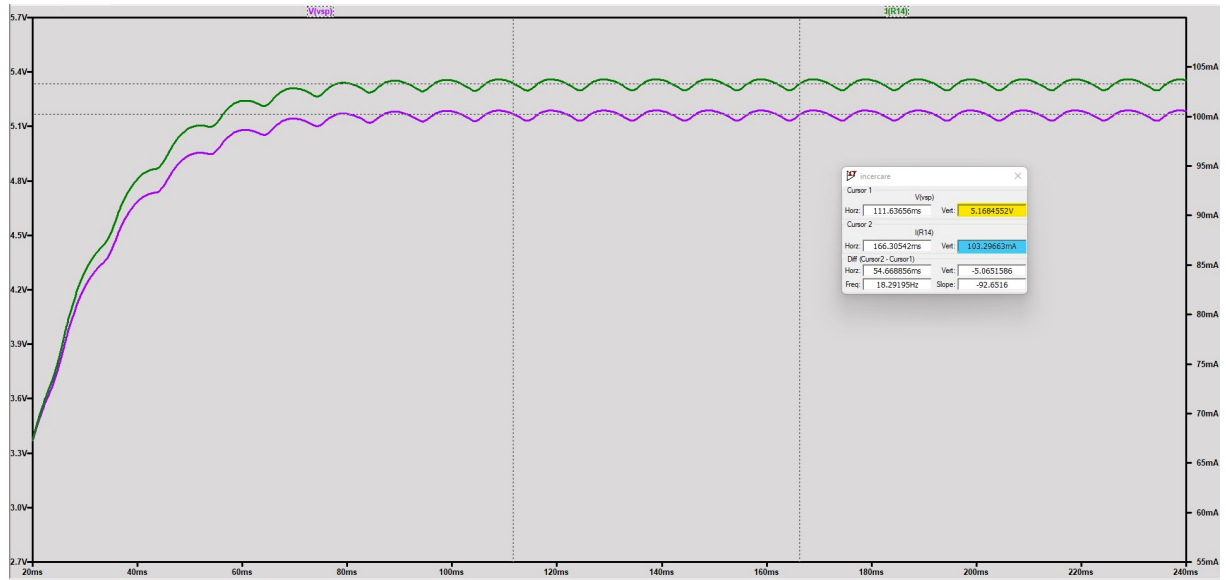


Figura 12: Simulare Transient sursa parametrică, $R_{14} = 100M\Omega$

Galben: tensiune la care se stabilizează sursa

Albastru: curentul prin rezistența de sarcină

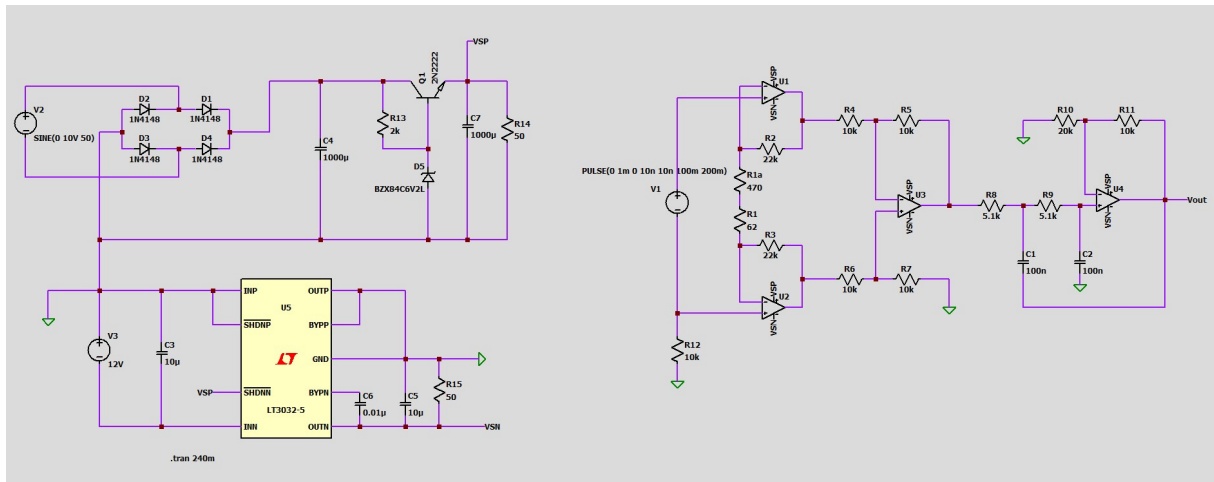
Pentru o rezistență de sarcină mult mai mică, $R_{14} = 50\Omega$ se observă că valoarea tensiunii generate este în jurul valorii de 5.1V, având totuși un ripple mai mare.



(a) Simulare Transient sursa parametrică, $R_{14} = 50\Omega$

Galben: tensiunea generată

Albastru: curentul prin rezistența de sarcină



(b) Circuitul după înlocuirea sursei VSP

2.5 Detectarea depășirii a 80% din domeniu

Pentru acest punct al proiectului, trebuie construit un circuit comparator cu histerezis, care să detecteze depășirea pragului de 80% din domeniu.

Circuitul până în acest moment transferă domeniul de intrare de $\pm 20mV$ în domeniul de ieșire de $\pm 2.5V$, deci comparatorul cu histerezis trebuie să detecteze o depășire a pragului de 80% din domeniul de ieșire.

Astfel, în momentul în care V_{out} ajunge la valoarea de $\frac{80}{100} \cdot 2.5 = 2V$, comparatorul generează un semnal de 5V (HIGH), iar în rest rămâne pe 0V (LOW).

Am construit astfel comparatorul:

- un amplificator operațional alimentat între 0V (GND) și 5V (VSP).
- semnalul de intrare (V_{out}) este aplicat la borma neinversoare (+) a amplificatorului, prin rezistența $R_{16} = 1k\Omega$, care are rol de limitare a curentului.
- borna inversoare este conectată la o sursă de 2V, sursă care arată pragul care trebuie depășit pentru ca circuitul să comute de LOW la HIGH.
- o rezistență de histerezis cu o valoare mai mare, ($100k\Omega$) conectată astfel încât să se realizeze o conexiune în buclă închisă.

Astfel circuitul final va arăta astfel:

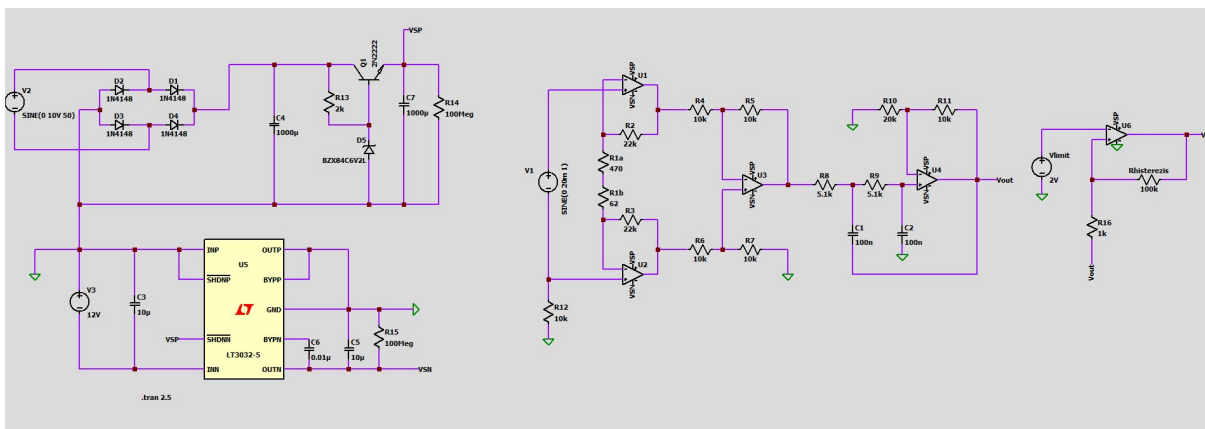


Figura 14: Circuitul final

Pentru a demonstra corectitudinea schemei am realizat o simulare transient. Se observă că atunci când V_{out} are valoarea între 2V și 2.5V se generează un semnal de 5V.

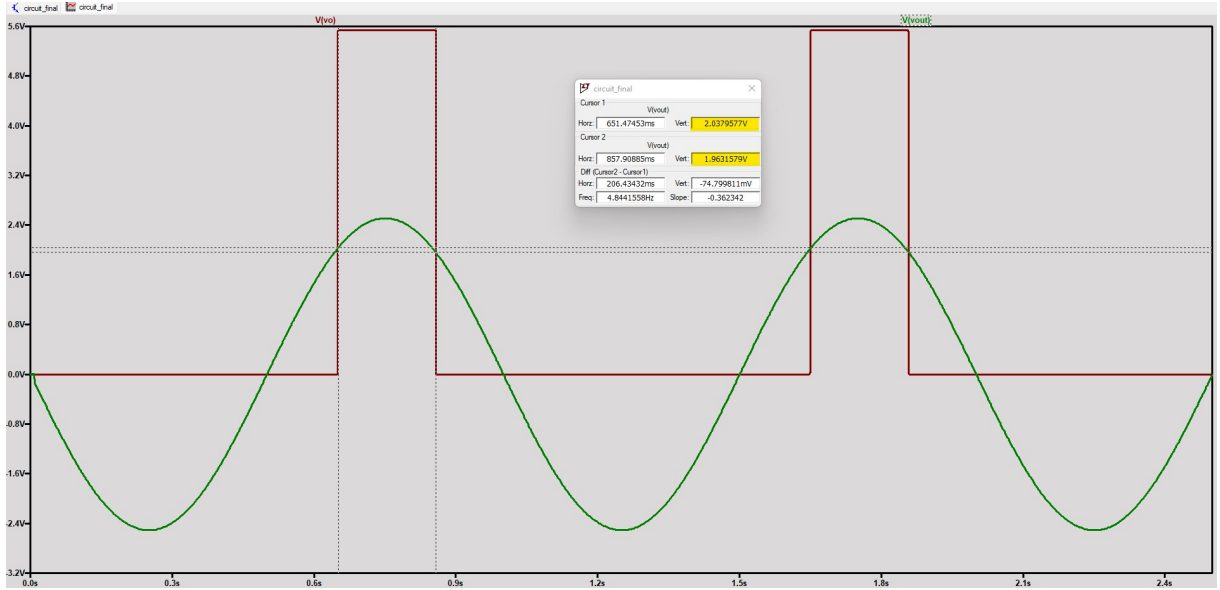


Figura 15: Ieșirea din comparatorul cu histerezis și V_{out}
Galben: Tensiunile la care se comută de la LOW la HIGH și invers

3 Concluzii finale

De-a lungul proiectului am observat că deși componentele folosite sunt reale, valorile simulărilor au fost foarte apropiate de cele calculate teoretic, chiar dacă în teorie se folosesc ori modele simplificate, ori liniarizate. Spre exemplu, curenții de intrare într-un AO nu sunt zero ca în teorie, ci sunt de ordinul zecilor de pA.

Circuitul construit, format din amplificatorul de instrumentație și filtrul activ, este capabil să amplifice foarte mult tensiunea de intrare, amplificare care chiar poate fi reglată prin modificarea unei singure componente a circuitului, R_1 .

Sursele de tensiune se pot construi atât folosind componente integrate, cât și discrete. În cazul stabilizatoarelor construite cu piese integrate este important să urmărim Datasheetul înainte de a introduce piesa în circuit deoarece aceasta funcționează la parametrii optimi doar urmând instrucțiunile (de exemplu sursa folosită de mine, LT3032-5 nu funcționa corespunzător dacă nu adăugam condensatoarele C_3 , C_5 și C_6).

Cât despre construirea sursei VSP am observat că dacă ar fi fost folosită o sursă V_2 cu frecvența mai mare, ripple-ul semnalului de ieșire ar fi fost mult mai mic, indiferent de rezistența de sarcină folosită, deoarece se va comuta mai des prin puntea redresoare. Cu toate acestea, ripple-ul nu este mare și nu afectează funcționarea circuitului.