

PROIECT TEHNICI CAD

CIRCUIT PENTRU CONTROLUL GREUTĂȚII UNUI CONTAINER

Profesori coordonatori:

prof. dr. ing. Ovidiu POP

asist. dr. ing. Cristina DAVIDAS

Student: Ferențiu Emma Luciana

Grupa 2124/Semigrupa 1

CUPRINS

1.	Specificații de proiectare	3
2.	Principiul de proiectare.....	4
3.	Schema electrică a circuitului cu rezistențe ideale.....	5
4.	Proiectarea circuitului.....	6
A.	Oglinda de curent.....	6
B.	Repetor de tensiune.....	10
C.	Convertor de domeniu.....	12
D.	Comparator.....	15
E.	LED.....	19
F.	Ansamblu pompă-releu.....	23
5.	Schema electrica a circuitului cu rezistențe din seria e96.....	24
6.	Analize de performanță.....	25
6.1.	Analiza Monte Carlo.....	25
6.2.	Analiza Worst-Case.....	27
7.	Bibliografie.....	28

1. Specificații de proiectare

1.1. Cerința proiectului

Să se proiecteze un sistem de control al greutateii unui container dedicat depozitării cerealelor. Containerul este prevăzut cu un orificiu pentru eliberarea cerealelor pe o bandă rulantă. Știind că senzorul de greutate folosit poate să măsoare greutatea liniar în domeniul specificat în tabel coloana E, sistemul se va proiecta astfel încât greutatea containerului să se mențină în intervalul specificat în coloana F. Senzorul de greutate se va polariza în curent.

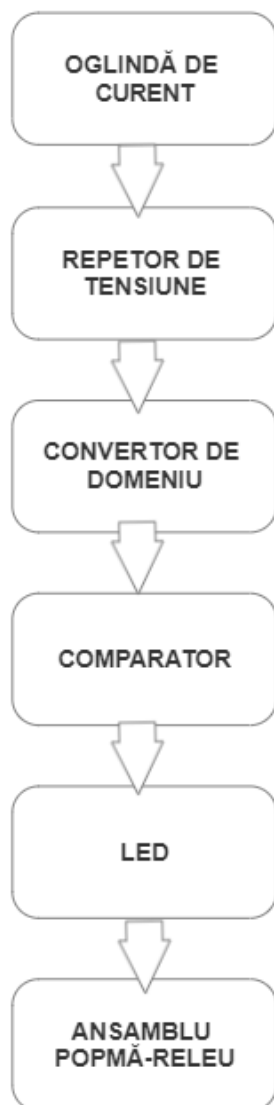
Variația liniară a rezistenței electrice a senzorului cu greutatea este specificată în coloana G și trebuie convertită într-o variație de tensiune în domeniul $[0 \div (V_{cc} - 2V)]$. Greutatea containerului este menținută în domeniul specificat cu ajutorul unei pompe comandată de un comparator și un releu electromagnetic. Ansamblul pompă-releu se va modela cu ajutorul unui rezistor. Starea pompei (pornită/oprită) este semnalizată de un LED, având culoarea specificată în tabel.

1.2. Specificații de proiectare

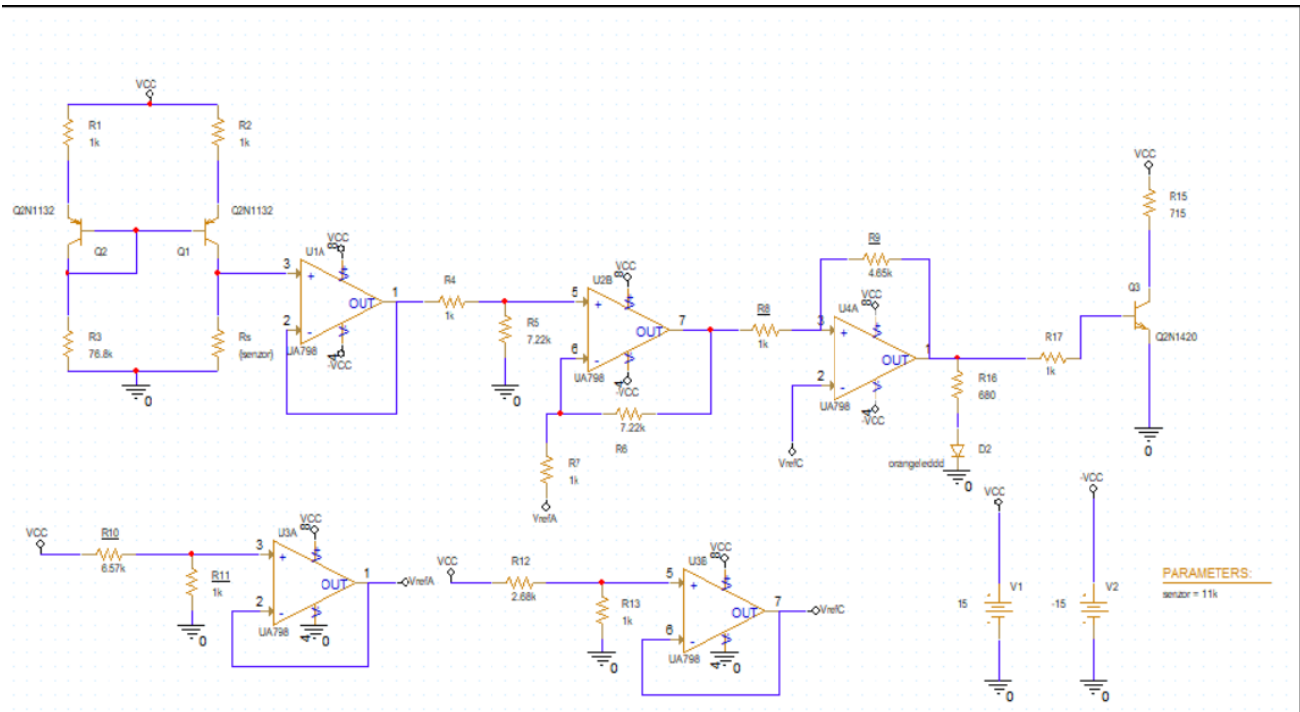
Domeniul de greutate măsurabil [kg]	Greutatea containerului [kg]	Rezistența senzorului [kΩ]	VCC [V]	Culoare LED
10...160	30-105	11k – 21k	15	PORTOCALIU

Tabel 1.

2. Schema bloc a circuitului



3.Schema electrică a circuitului cu rezistențe ideale



4. Proiectarea circuitului

A. Oglinda de curent

O oglindă de curent este un circuit conceput pentru o copia curentului de la intrarea acesteia la ieșire, menținând un curent constant. Am ales să folosesc 2 tranzistoare pnp și 3 rezistențe, la care se adaugă rezistența de sarcină cu parametru global. Rezistența R_s simulează modificarea greutateii containerului.

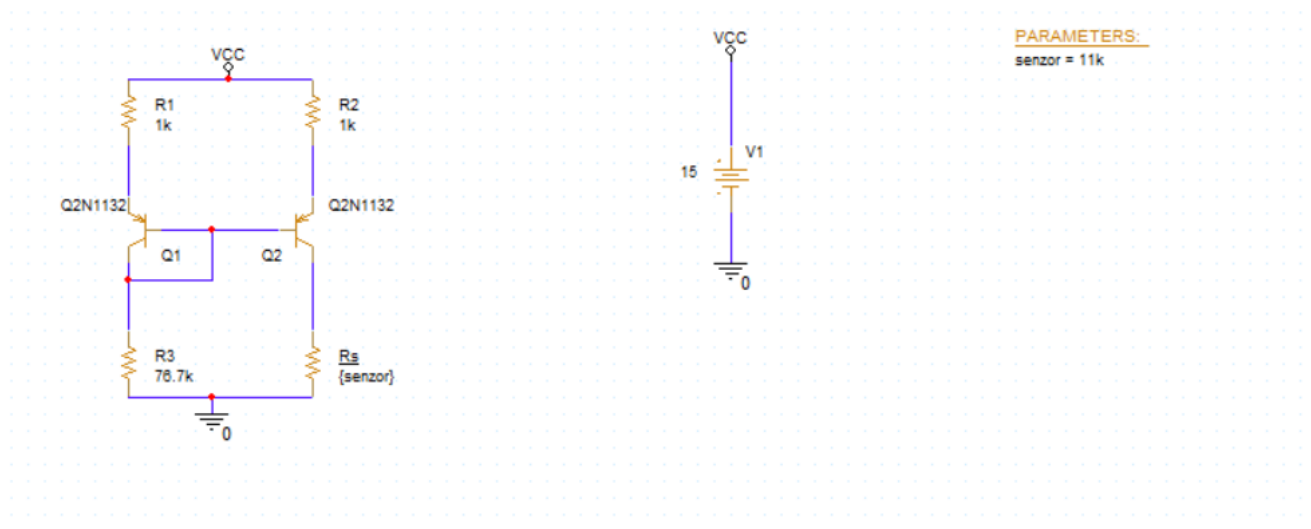


Figura 1. Schema electrică a oglinzii de curent

Îmi primul rând, cu ajutorul ecuației (1) am calculat valoarea curentului de la ieșirea oglinzii de curent,

$$(1) \quad I = \frac{V}{R_{smin}}$$

unde $V = 2V$ am considerat tensiunea necesară deschiderii tranzistorilor și R_{smin} ca fiind rezistența minimă primită în cerințele de proiectare ($11k\Omega$).

În urma calculului, curentul a rezultat 0.1818 mA .

Pentru simplificarea calculelor, am considerat rezistențele $R1$ și $R2$ de valoare $1k\Omega$, astfel încât valoarea rezistenței $R3$ am calculat-o conform formulei (2) :

$$(2) \quad R1 + R2 + R2 = \frac{V_{cc} - V_{ce}}{I}$$

de unde valoarea rezistenței R3 este de 76,8 kΩ.

În continuarea, pentru a verifica veridicitatea calculelor, am creat un profil de simulare DC Sweep. Sursa de tensiune (Vcc) este proiectată conform cerințelor, având valoarea de 15V. Rezistența Rs reprezintă senzorul de greutate, fiind implementată cu ajutorul unui parametru global, numit sugestiv “senzor”, ce variaza între 11kΩ și 21kΩ cu un increment de 1kΩ.

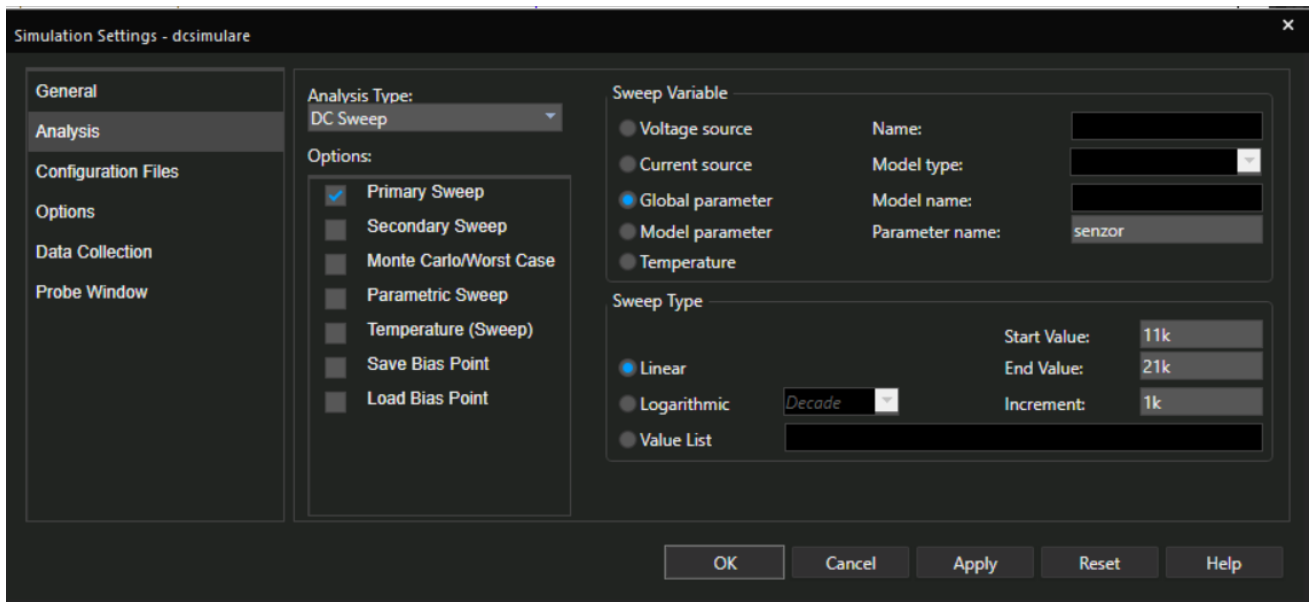


Figura 2. Analiză DC SWEEP cu parametru global

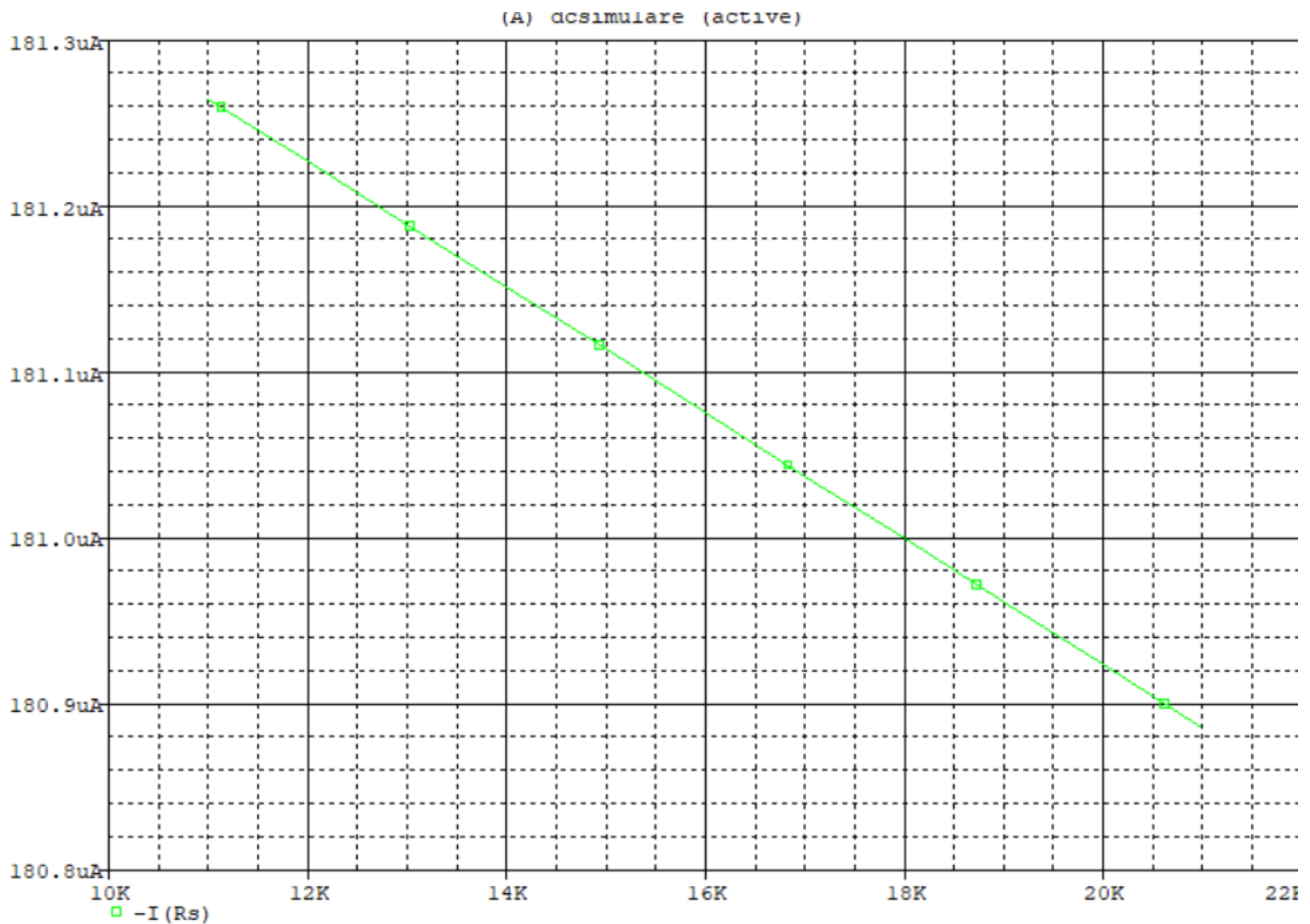


Figura 3. Caracteristica de curent cu variația rezistenței senzorului

În figura 3, putem observa caracteristica de curent de la ieșirea oglinzii, curentul rămânând aproape constant indiferent de modificarea valorii rezistenței R_s .

În următorul pas vom calcula tensiunea care cade pe rezistență cu ajutorul a două formule, una pentru a calcula tensiunea de prag jos, respectiv cealaltă pentru tensiunea de prag sus. Folosim curentul care străbate rezistența și valorile minime și maxime ale acesteia.

$$(3) \quad V_{rmin} = I \times R_{min} = 1,98V$$

$$(4) \quad V_{rsmax} = I \times R_{max} = 3,78V$$

Confirmăm rezultatele cu ajutorul simulării DC Sweep, de data aceasta în tensiune:

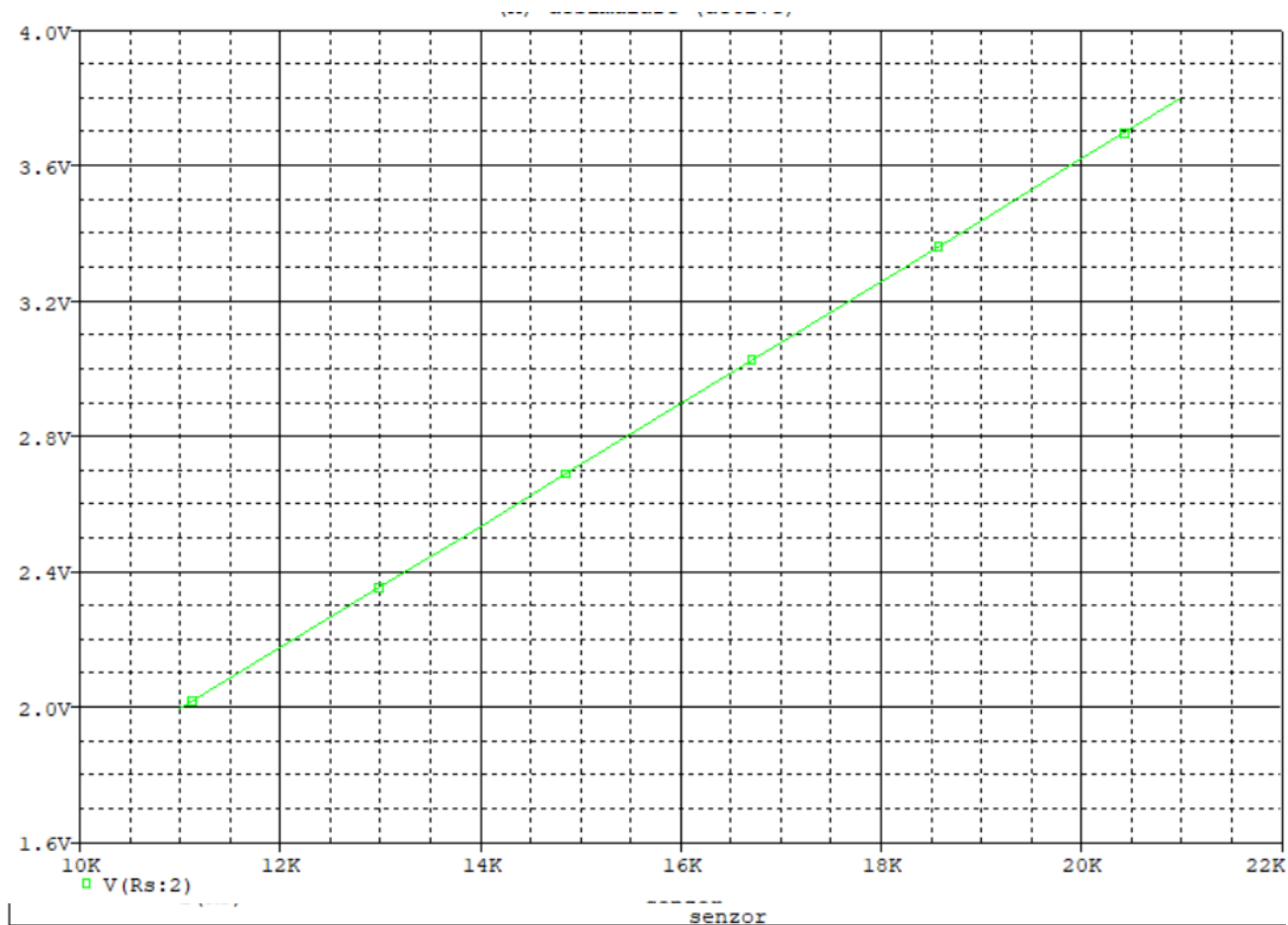


Figura4. Caracteristica de variație a tensiunii de pe senzor în funcție de variația rezistenței

B. Repetor de tensiune

Repetorul este un amplificator neinvertor, fiindu-i specific faptul că întreaga tensiune de ieșire este adusă la intrarea inversoare prin conectare directă, având reacție negativă totală.

Utilitatea repetorului în proiectarea circuitului nostru este adaptarea de impedanță, protejând integritatea circuitului. Am ales să folosesc un UA798, alimentarea este alcătuită din alimentarea întregului circuit, $-V_{cc}$ și $+V_{cc}$ cu valori de $-15V$ și $+15V$.

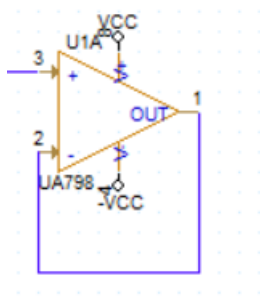


Figura 5. Repetorul de tensiune

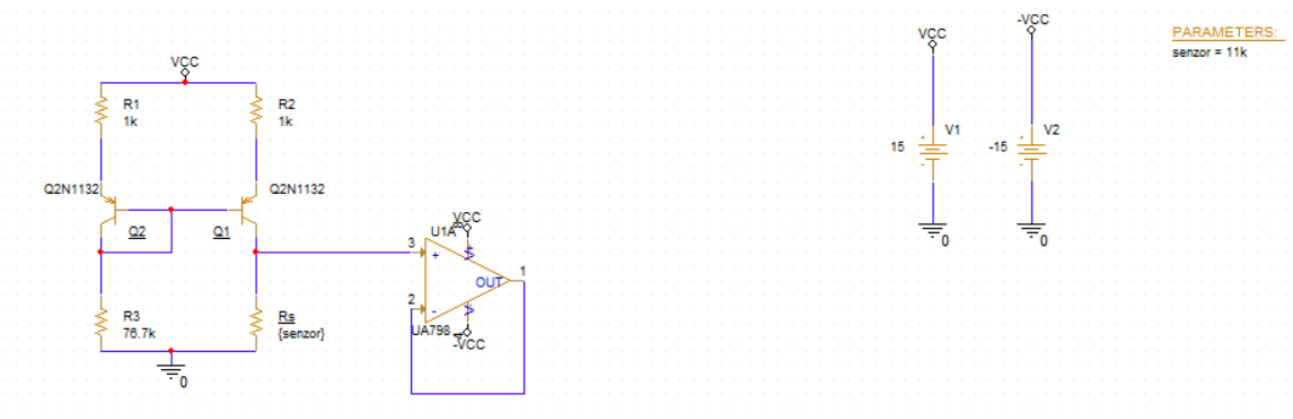


Figura 6. Ansamblu oglinda de curent – repetor

Testăm funcționalitatea optimă a ansamblului de AO și repertor cu ajutorul aceleiași simăulari Dc Sweep în tensiune. Observăm că atât căderea de tensiune de la ieșirea oglinzii – reprezentată de culoarea roșie, cât și căderea de tensiune de la ieșirea repertorului – reprezentată de culoarea albastră sunt egale, acesta fiind rezultatul care ne confirmă

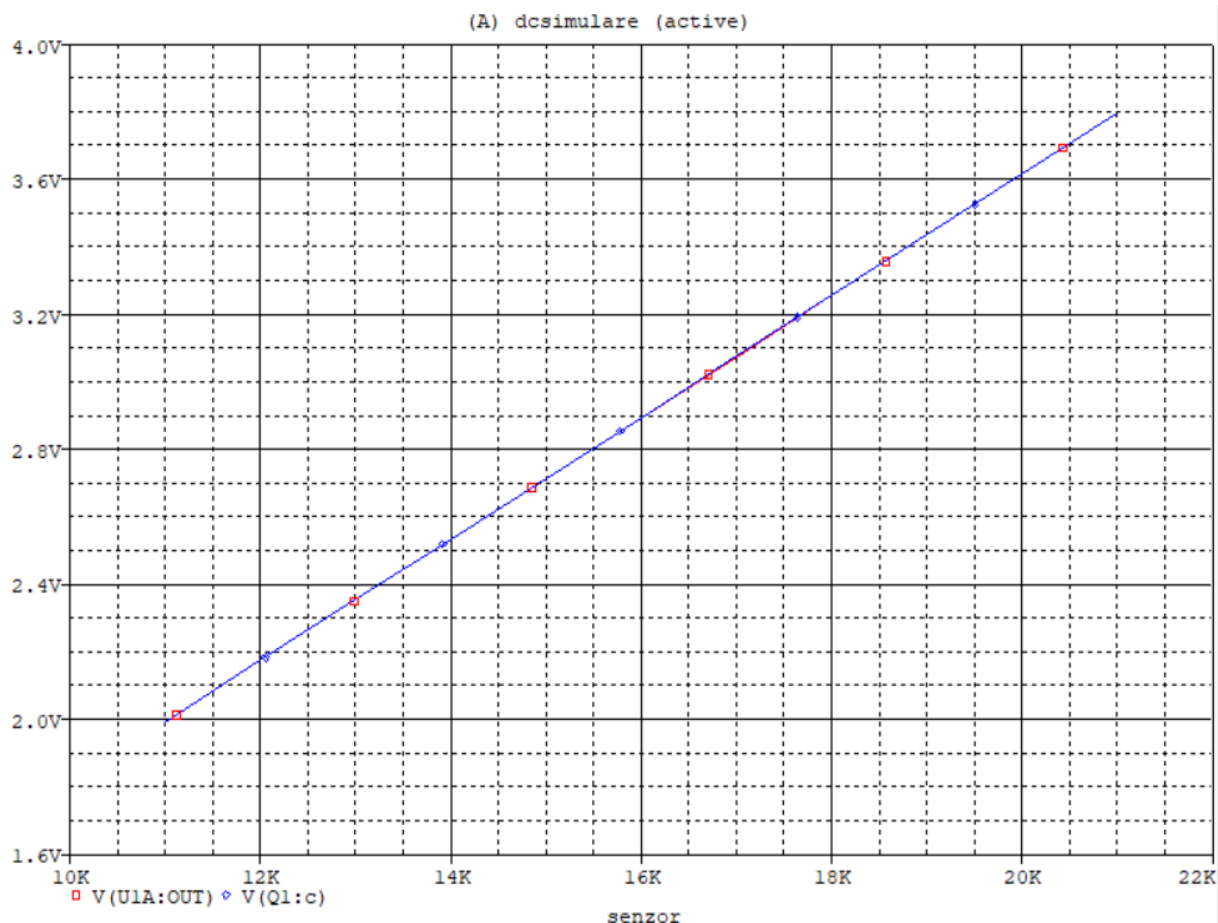


Figura 7. Caracteristicile de ieșire a tensiunii de la ieșirea oglinzii și de la ieșirea repertorului

C. Convertor de domeniu

Pentru a converti intervalul de tensiune (1.98V, 3.78V) de la ieșirea repetorului de tensiune la intervalul (0, 16V) vom utiliza un amplificator diferențial, am ales modelul UA798.

Pentru simplitate, am considerat $R_6=R_5$ și $R_7=R_4$. Ne folosim de formula 5,

$$(5) \quad V_o = \frac{R_6}{R_7} (V_{in} - V_{ref})$$

unde V_o ia valori în intervalul $[0, V_{cc}-2]$, anume $[0, 15]$, iar V_{in} este intervalul de la ieșirea repetorului. Pentru a obține valorile dorite ale V_{min} , V_{ref} ar trebui să fie 1,98V. În cazul V_{max} , raportul dintre R_6 și R_7 trebuie să fie 7.22, așadar considerăm $R_6=7.22K\Omega$ și $R_7=1k\Omega$.

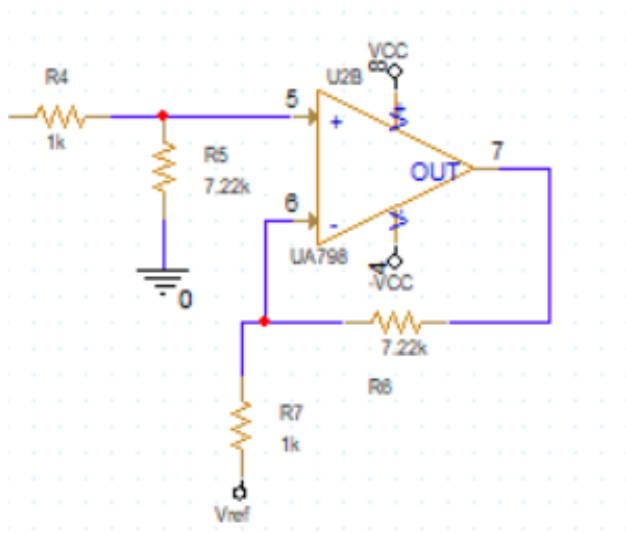


Figura 8. Schema convertorului de domeniu

În continuare, avem nevoie de o **tensiune de referință**. Avem în circuit o singură sursă de tensiune, având valoarea de 15V și avem nevoie să o transformăm în 1,98V (tensiunea de referință a convertorului de domeniu). În vederea acestui lucru, avem nevoie să construim un divizor de tensiune:

$$(6) \quad V_{ref} = \frac{R_{11}}{R_{11}+R_{10}} \times V_{cc}$$

Folosind formula divizorului de tensiune de mai sus am considerat $R_{11}=1k\Omega$, iar valoarea pentru R_{10} este 6.57 k Ω .

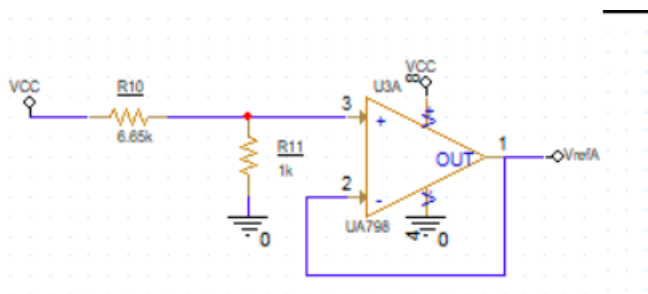


Figura 9. Schema divizorului de tensiune

În Figura 10 este prezentat circuitul format din oglinda de curent, repetorul de tensiune și amplificatorul operațional :

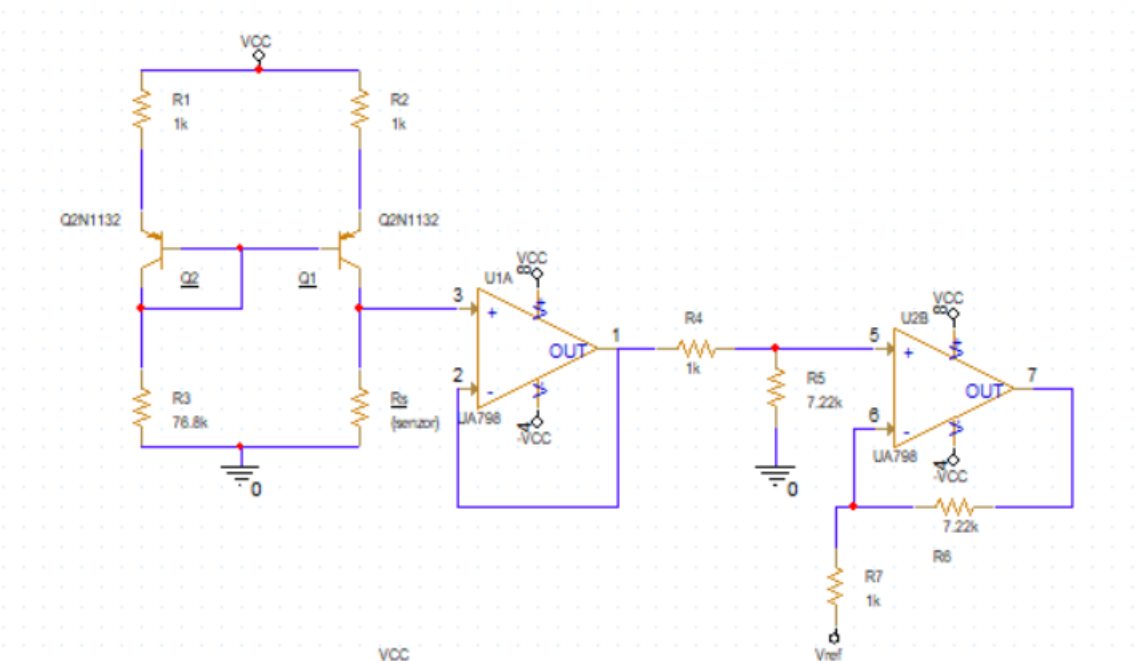


Figura 10. Schema formată din oglinda de curent, repetor și AO

Din simularea de mai jos, de tip DC Sweep, putem observa translația intervalului de tensiune de la (1.98V, 3.78V), reprezentat în culoarea roșie, și noul interval (0V,15V), reprezentat în culoarea verde. În consecință, din această simulare reiese că atât convertorul de domeniu cât și tensiunea de referință se comportă conform specificațiilor de proiectare.

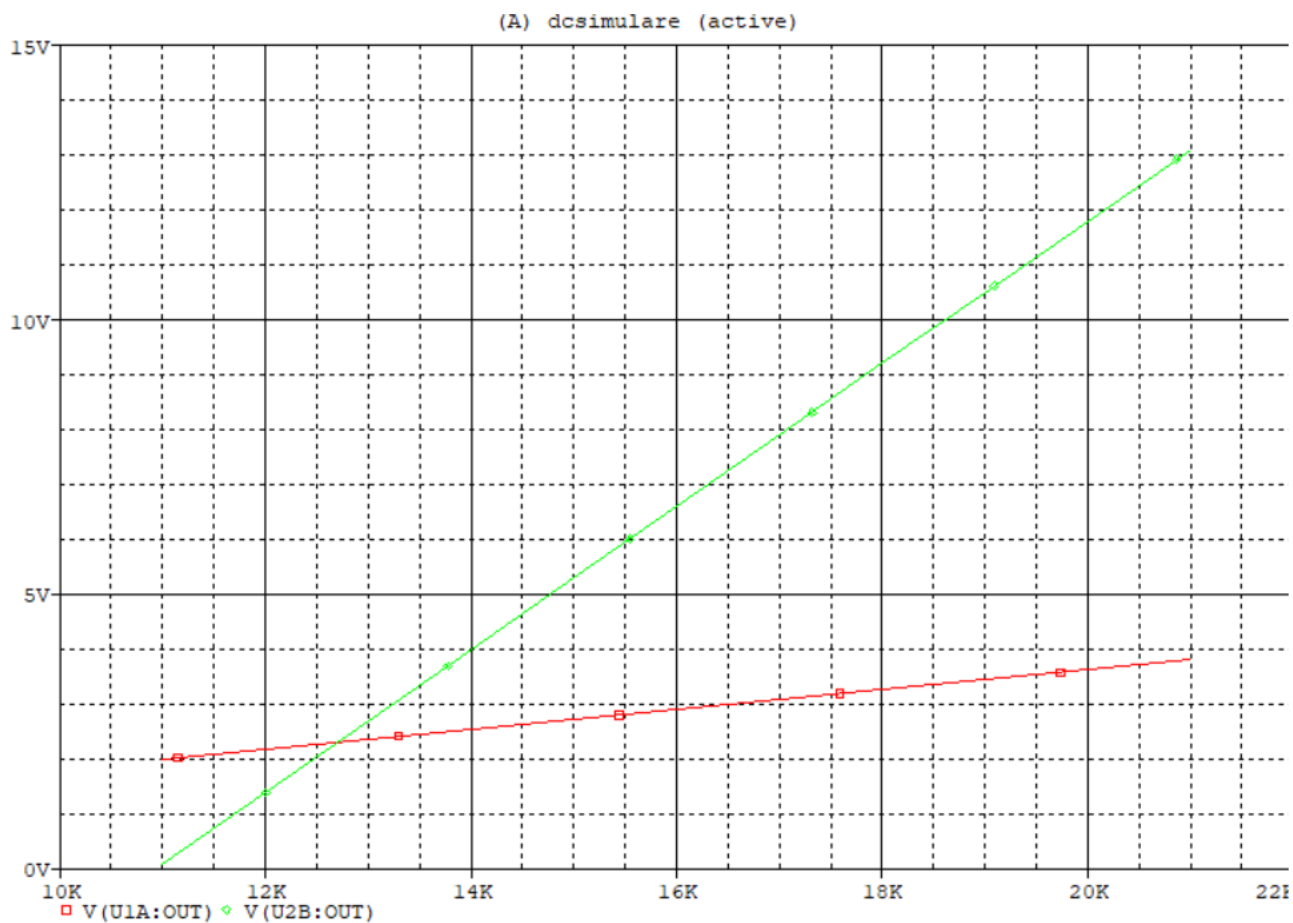


Figura 11. Caracteristicile tensiunii de la ieșirea repetorului și de la ieșirea amplificatorului

D. Comparator

Conform cerinței, senzorul de greutate al circuitului proiectat este capabil să măsoare greutate cuprinse între 10 kg și 160 kg, totuși greutatea containerului trebuie să fie cuprinsă în intervalul [30kg, 105kg].

Pentru a determina cele două praguri ale comparatorului avem nevoie de o formă a ecuației de gradul I :

$$(7) \quad A \times \text{domeniul}_{\text{limitainferioara}} + B = V_{o_{\text{valoareminima}}}$$

$$(8) \quad A \times \text{domeniul}_{\text{limitasuperioara}} + B = V_{o_{\text{valoaremaxima}}}$$

, unde A, B sunt necunoscutele celor 2 ecuații, iar domeniul amintit este cel de greutate măsurabil, V_o fiind tensiunea de la ieșirea convertorului de domeniu (0,13V).

Rezolvând ecuațiile (7) și (8), obținem $A = 0.086$ și $B = -0.86$

$$(9) \quad A \times \text{greutatea}_{\text{limitainferioara}} + B = V_{pj}$$

$$(10) \quad A \times \text{greutatea}_{\text{limitasuperioara}} + B = V_{ps}$$

V_{ps} și V_{pj} reprezintă pragurile comparatorului, iar conform calculelor acestea sunt egale cu 1,72V, respectiv 8,17V.

$$(11) \quad V_{pj} - V_{ps} = \frac{R_8}{R_9} (V_{ol} - V_{oh})$$

unde V_{ol} și V_{oh} sunt -15V și 15V, așadar în urma calcului rezultă că $R_8 = 1k\Omega$ și $R_9 = 4.65k\Omega$.

$$(12) \quad V_{ps} = -\frac{R_8}{R_9} \times V_{ol} + \left(1 + \frac{R_8}{R_9}\right) \times V_{ref}$$

$$(13) \quad V_{pj} = -\frac{R_8}{R_9} \times V_{oh} + \left(1 + \frac{R_8}{R_9}\right) \times V_{ref}$$

Din ecuațiile (12) și (13) rezultă că V_{ref} are valoarea de 4,07V. Pentru a putea transforma V_{cc} -ul într-o sursă de tensiune de valoare 4,07V vom folosi un divizor de tensiune.

$$(14) \quad V_{ref} = \frac{R_{13}}{R_{13} + R_{12}} \times V_{CC}$$

În urma calculelor, rezultă că R12 este 2.68kΩ și R13 1 kΩ.

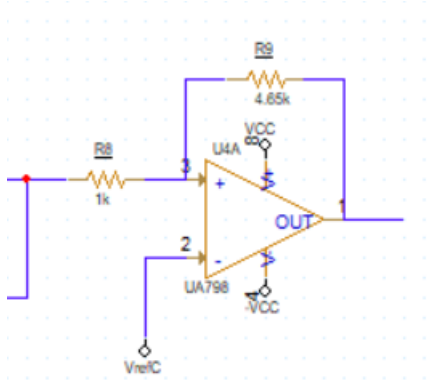


Figura 12. Schema comparatorului neinversor

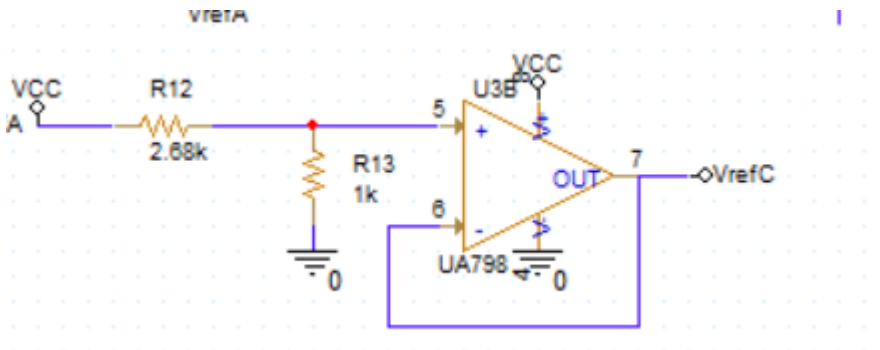


Figura 13. Schema tensiunii de referință

În continuare, vom încerca să găsim o relație între valoarea rezistenței și greutatea containerului. Ne propunem să analizăm valoarea Rs când greutatea containerului este de 30 kg și de 105kg.

Pentru început, calculăm variația rezistenței și variația domeniul de greutate măsurabil:

$$\text{Variație}_{\text{rezistență}} = 21\text{k}\Omega - 11\text{k}\Omega = 10\text{k}\Omega$$

$$\text{Variație}_{\text{greutate}} = 160\text{kg} - 10\text{kg} = 150\text{kg}$$

Calcularea valorilor rezistenței la o greutate specifică se va face cu următoarea formula:

$$(15) \quad \frac{\text{Variație}_{\text{rezistență}}}{\text{Variație}_{\text{greutate}}} = \frac{\text{Rezistență} - 11\text{k}}{\text{Greutate} - 10\text{kg}}$$

Înlocuind în formula dedusă anterior, aflăm că:

- la greutatea de 30 de kg, rezistența este egală cu aproximativ $12\text{k}\Omega$
- la greutatea de 105 de kg, rezistența este egală cu aproximativ $17\text{k}\Omega$

Pentru a evidenția valorile calculate anterior am folosit analiza DC Sweep cu parametru global – cu valoare de start de 11k, valoare de stop de 21k și increment de 1k, rezultând prima parte a histerezei.

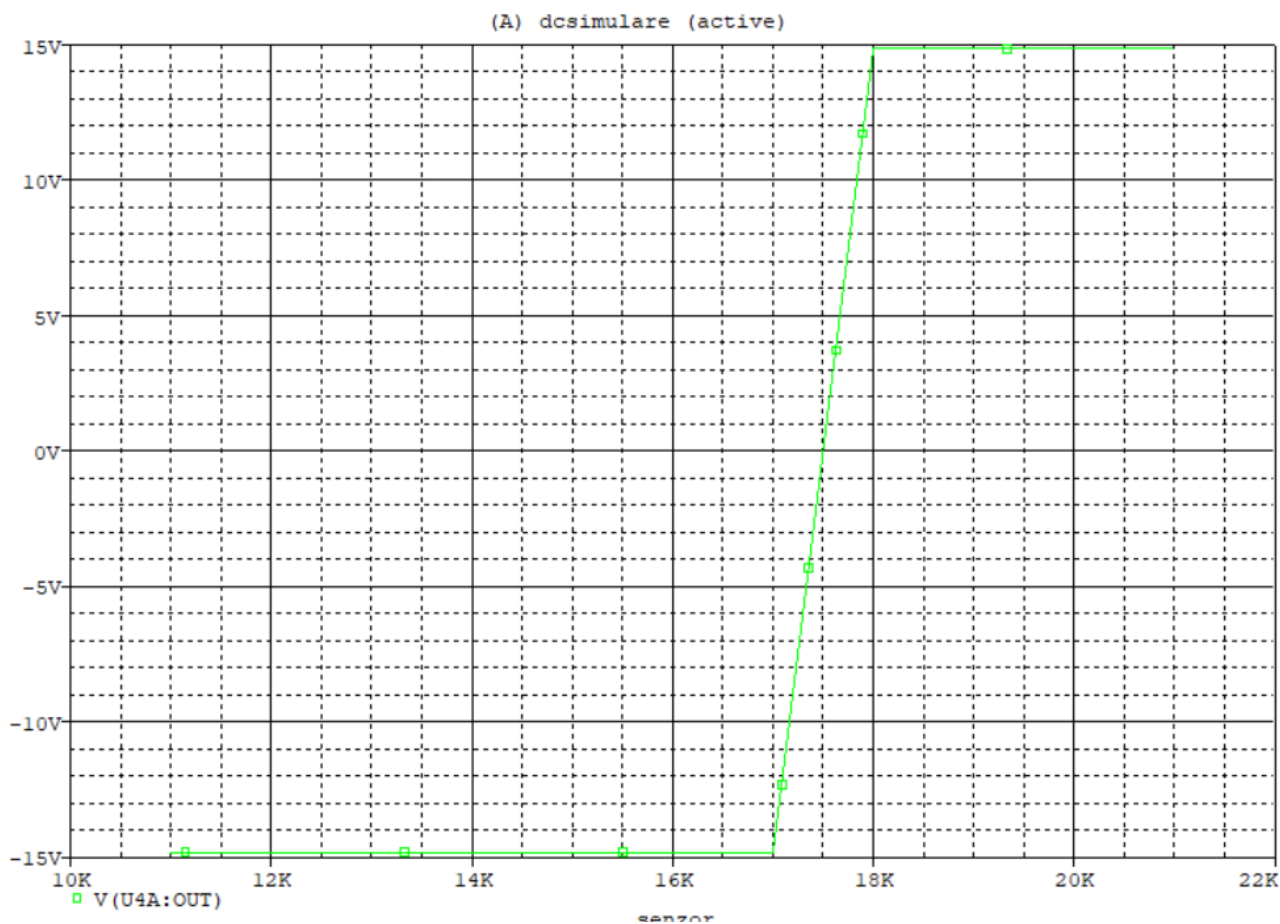


Figura 14. Caracteristica tensiunii în funcție de rezistență(part1)

În continuare, vom folosi o analiza Dc Sweep cu valoare de start de 21k, valoare de stop de 11k și increment de -1k, rezultând a doua parte a histerezei.

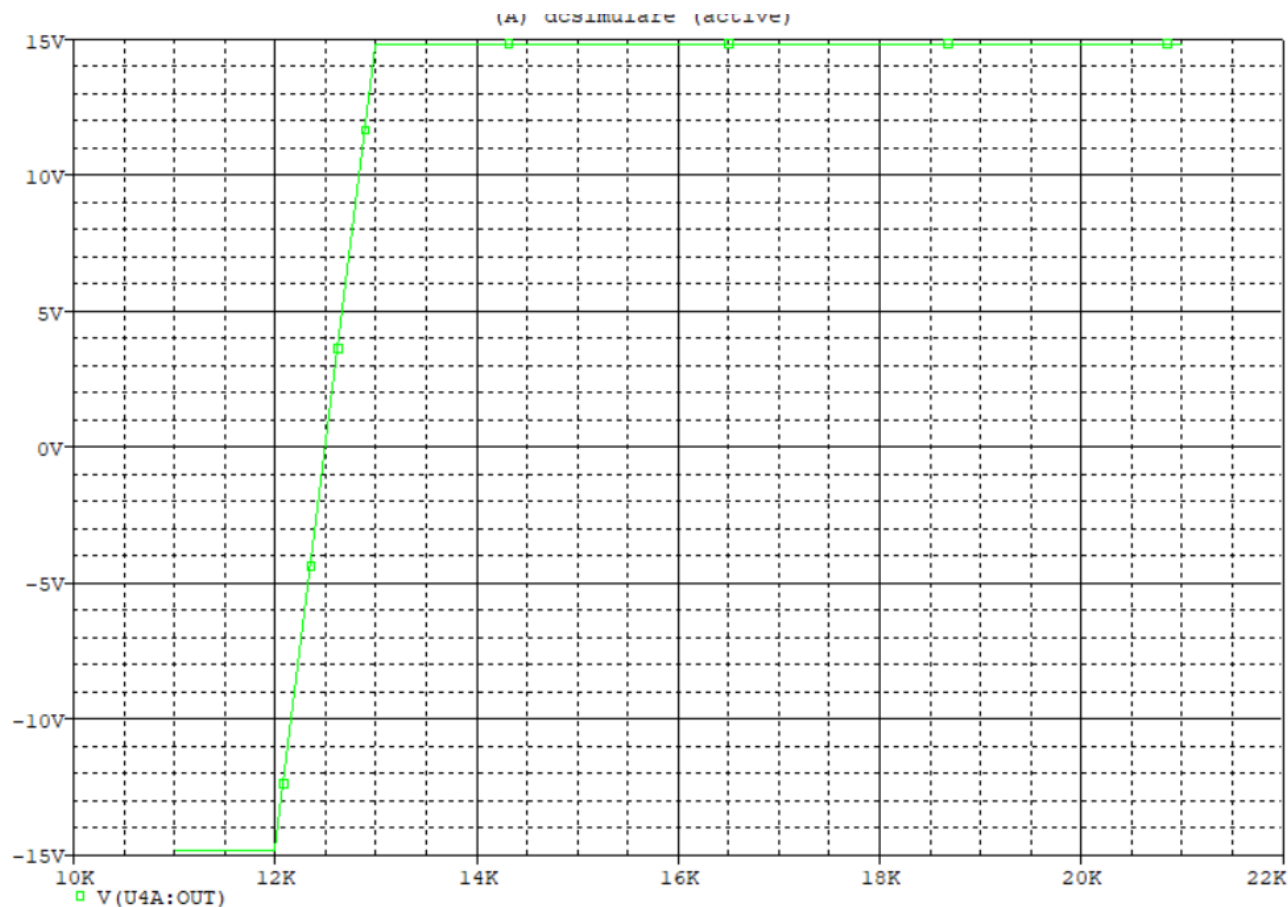


Figura 15. Caracteristica tensiunii în funcție de rezistență(part2)

Histerezis este un fenomen potrivit căruia valoarea actuală a unei mărimi depinde și de valorile anterioare ale mărimilor care o determină.

E. LED

Starea pompei este semnalizată de un LED, iar modelul de LED utilizat este un ORANGE led, folosindu-ne de valorile aflate în fișa tehnică.

$$(16) \quad R_{led} = \frac{V_{cc} - V_F}{I_F}$$

Din foaia de catalog a LED-ului Orange (GaP $\lambda_P = 635\text{nm}$) , $V_F=2\text{V}$, iar $I_F=20\text{mA}$. Conform formulei (16) rezultă că R_{led} ar trebui sa fie 680Ω .

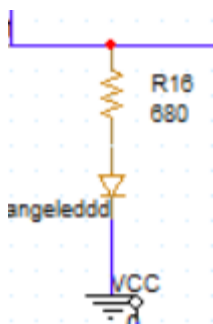


Figura 16. Schema LED

Modelarea LED-ULUI

Din foaia de catalog am extras graficul FORWARD VOLTAGE / FORWARD CURRENT.

Orange (GaAsP/CaP $\lambda_P = 635\text{nm}$)

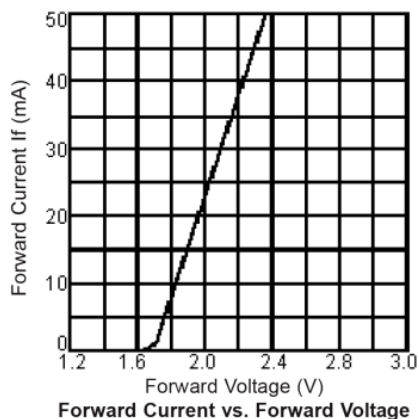


Figura 17. Caracteristica directa a ledului, din fișa tehnică

Cu ajutorul aplicației PlotDigitizer, unde prin intermediul graficului din figura 17 am extras aproximativ 20 de puncte pe care le-am introdus în aplicația în PSpice Model Editor, translatând caracteristica directă a led-ului portocaliu.

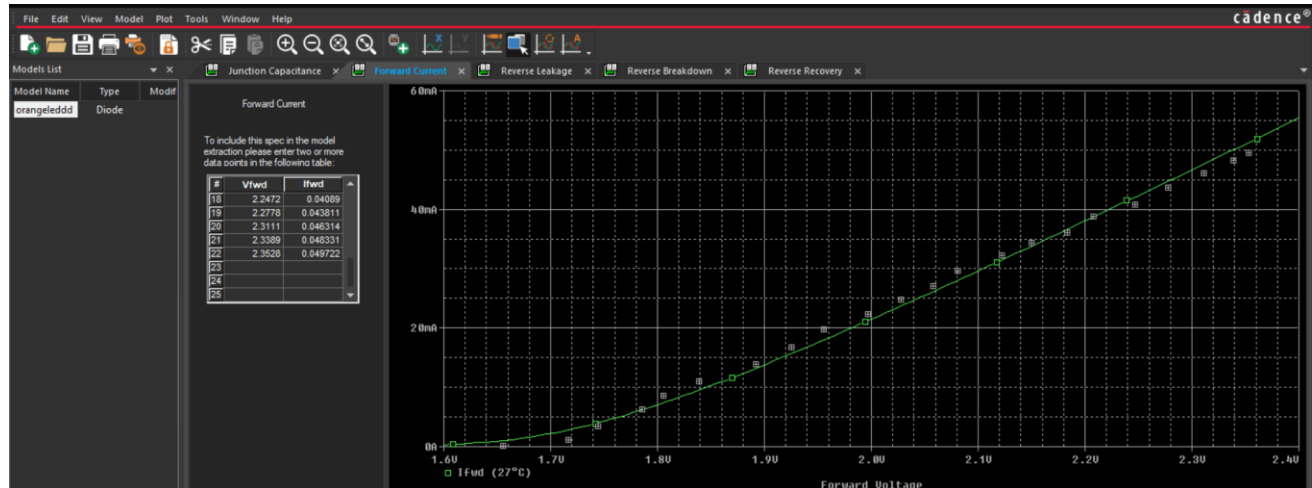


Figura 18. Variația tensiunii și a curentului pe LED în Pspice Model Editor

Pentru a importa și a folosi cu succes LED-ul portocaliu în circuit, am urmat o serie de pași. Pentru început, LED-ul fiind adăugat în circuit prin intermediul unei componente DBreak, i-am schimbat acesteia Implementation Path și am adăugat totodată și fișierul modelat PSpice Model Editor în librăria Orcadului.

	A
	SCHEMATIC1 : PAGE1
AREA	
Color	Default
Designator	
Graphic	Dbreak.Normal
ID	
Implementation	orangeleddd
Implementation Path	C:\Users\Emma\Desktop\
Implementation Type	PSpice Model
Location X-Coordinate	710
Location Y-Coordinate	300
Name	INS9960
Part Reference	D2
PCB Footprint	
Power Pins Visible	<input type="checkbox"/>
Primitive	DEFAULT
PSpiceOnly	TRUE
PSpiceTemplate	D^@REFDES %1 %2 @MOD
Reference	D2
Source Library	C:\CADENCE\SPB_22.1
Source Package	Dbreak
Source Part	Dbreak.Normal
Value	Dbreak

Figura 19.

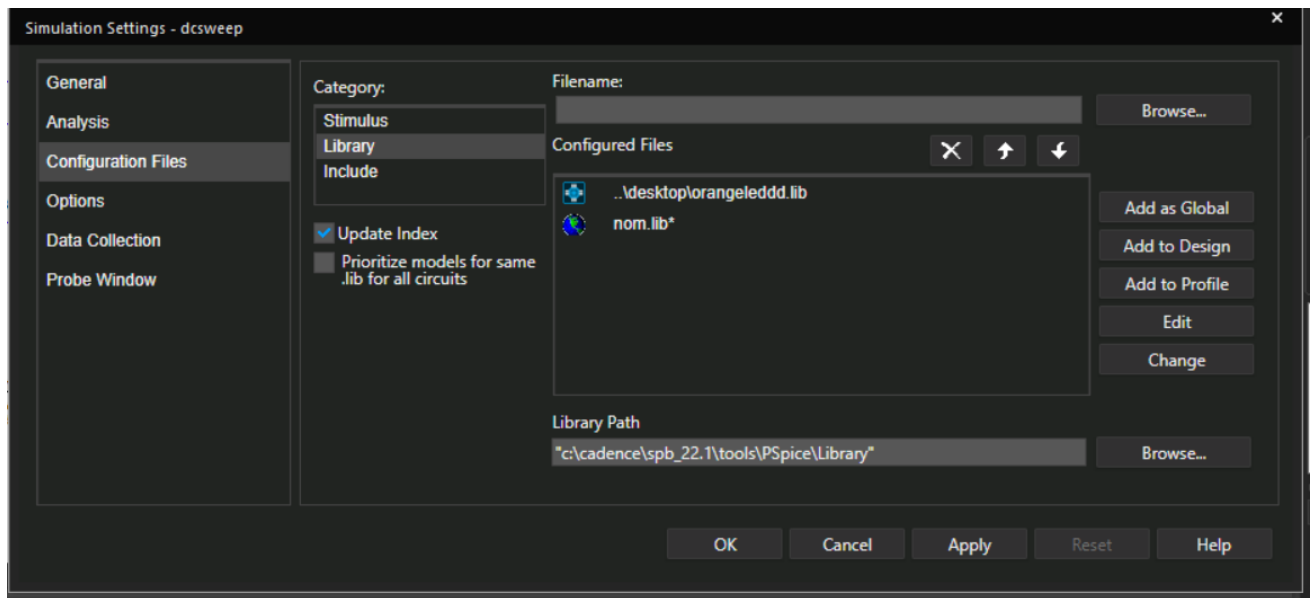


Figura 20.

Cu același tip de simulare DC SWEEP, vizualizăm curentul prin Led și observăm că ajunge corespunzător la valoarea de 20mA.

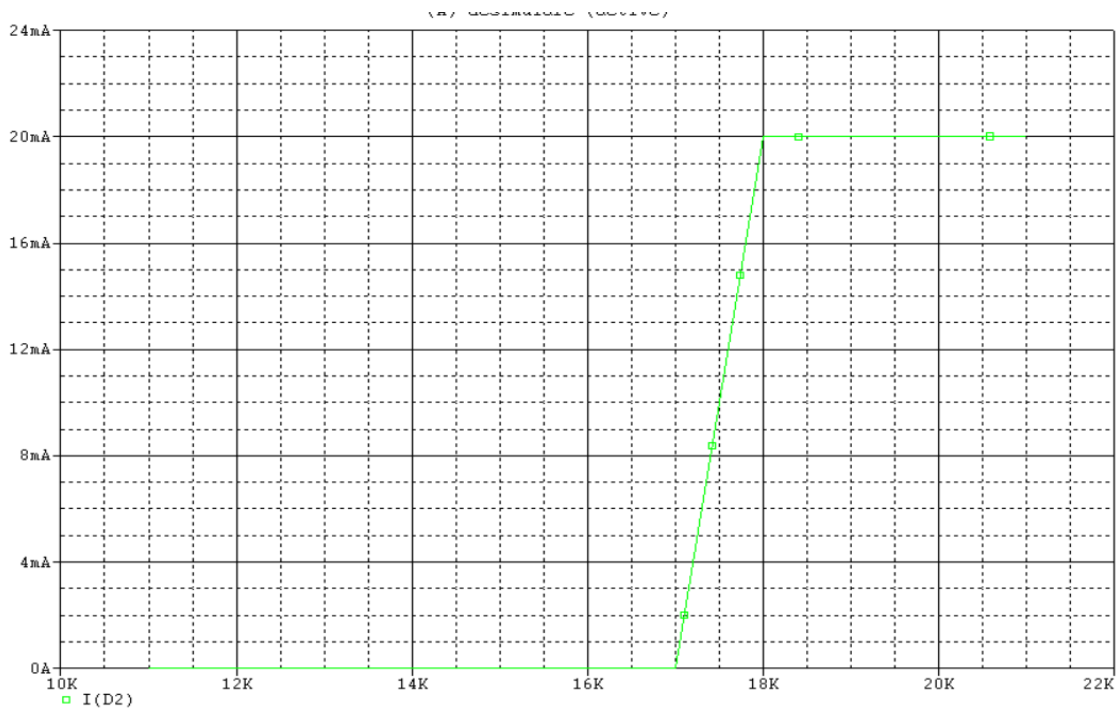


Figura 21. Caracteristica LED-ului

F. Ansamblul pompă-releu

Releul este o componentă electronică, un dispozitiv, care produce anumite modificări (cum ar fi închiderea și deschiderea unui circuit) pe baza unui parametru care variază (precum tensiunea electrică aplicată), permițând controlarea unui curent de intensitate mare cu ajutorul unui curent de intensitate mică.

Ansamblul pompă-releu care se va modela cu ajutorul unui rezistor va fi comandat cu ajutorul unui tranzistor cu rol de comutator.

$$(17) \quad R = \frac{V_{cc} - V_{ec}}{I}$$

În urma calculelor, R14 este 715Ω.

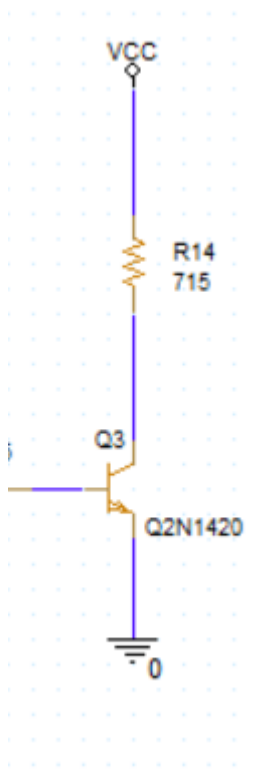
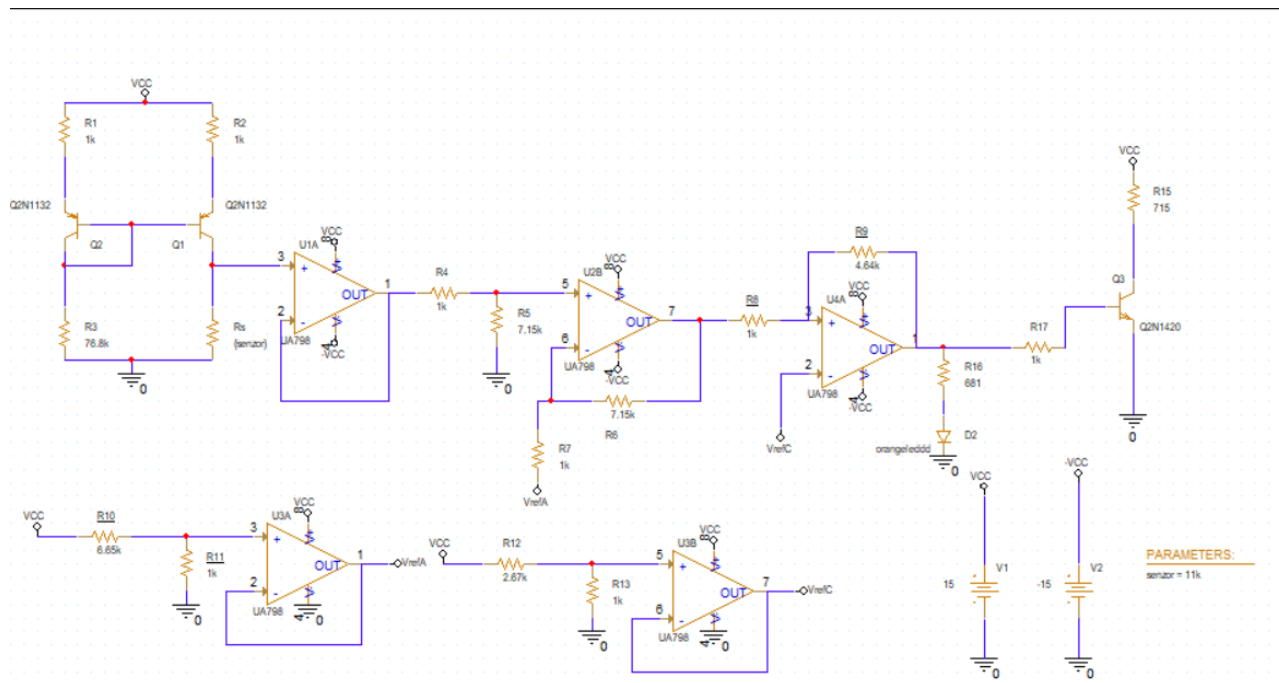


Figura 22. Ansamblul pompă-releu

5.Schema electrică completă a circuitului cu rezistențe din seria E96

Am ales să aduc mici adaptări valorilor rezistențelor folosite anterior pentru a fi din seria E96, având toleranța de 1%.



6. Analize de performanță

A. Analiza Monte Carlo

Aceasta constituie cel mai bun mod de analiză a unui circuit din punct de vedere statistic, de a vedea cum se comportă acel circuit la variații ale valorilor componentelor. Această analiză este foarte utilă pentru a avea o imagine aproape reală a funcționării unui circuit, atunci când toată gama de componente folosite are toleranță.

Rezistențele folosite în circuitul nostru au toleranță de 1%, fiind din seria E96.

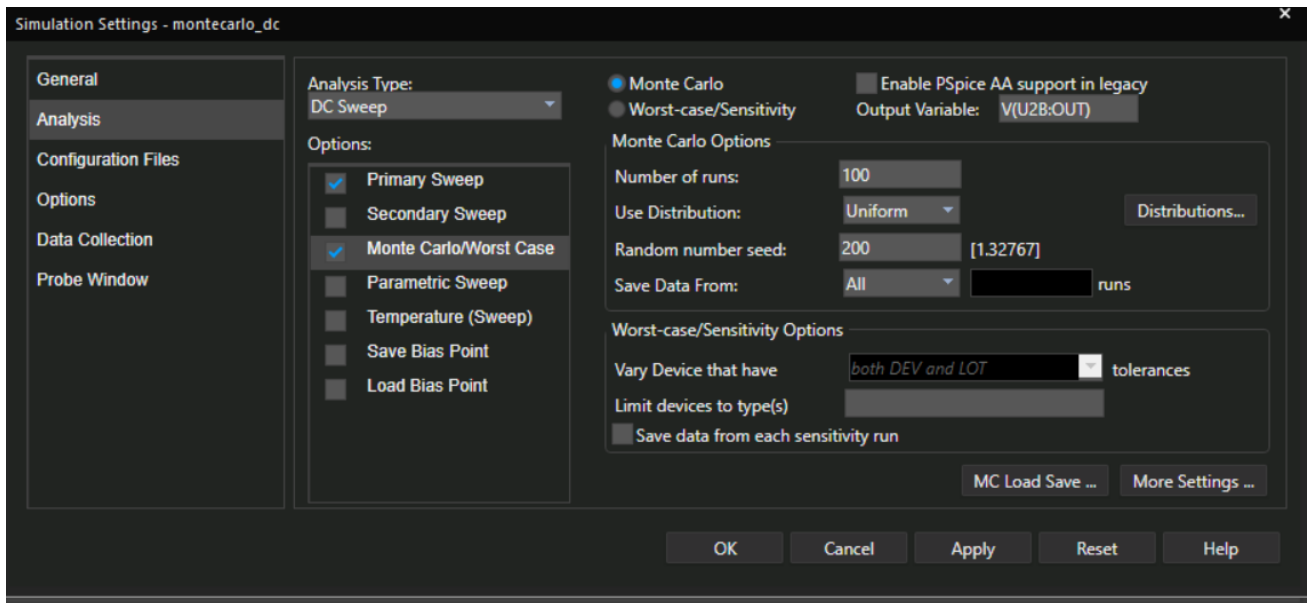


Figura 23. Crearea unui profil de simulare in timp si analiza de performanță Monte Carlo



Figura 24. Analiza Monte Carlo, cu analiza principală în timp

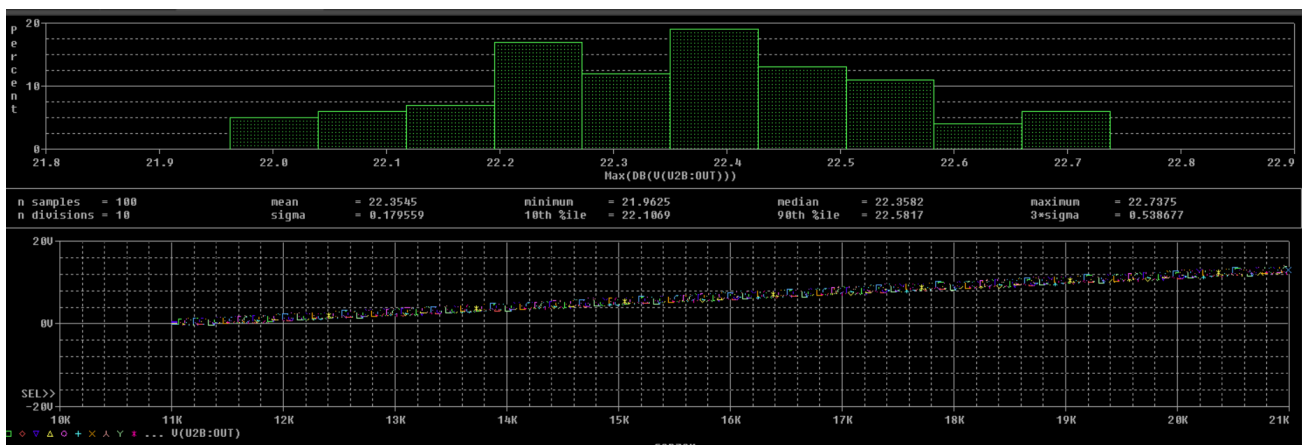


Figura 25. Analiza Monte Carlo, cu analiza principală DC Sweep

B. Analiza de tip Worst Case

Aceasta identifică care parametri ai componentelor sunt critici pentru funcționarea circuitului și determină în ce măsură afectează fiecare componentă funcționalitatea și comportarea acestuia – acest lucru este evidențiat în figura 25.

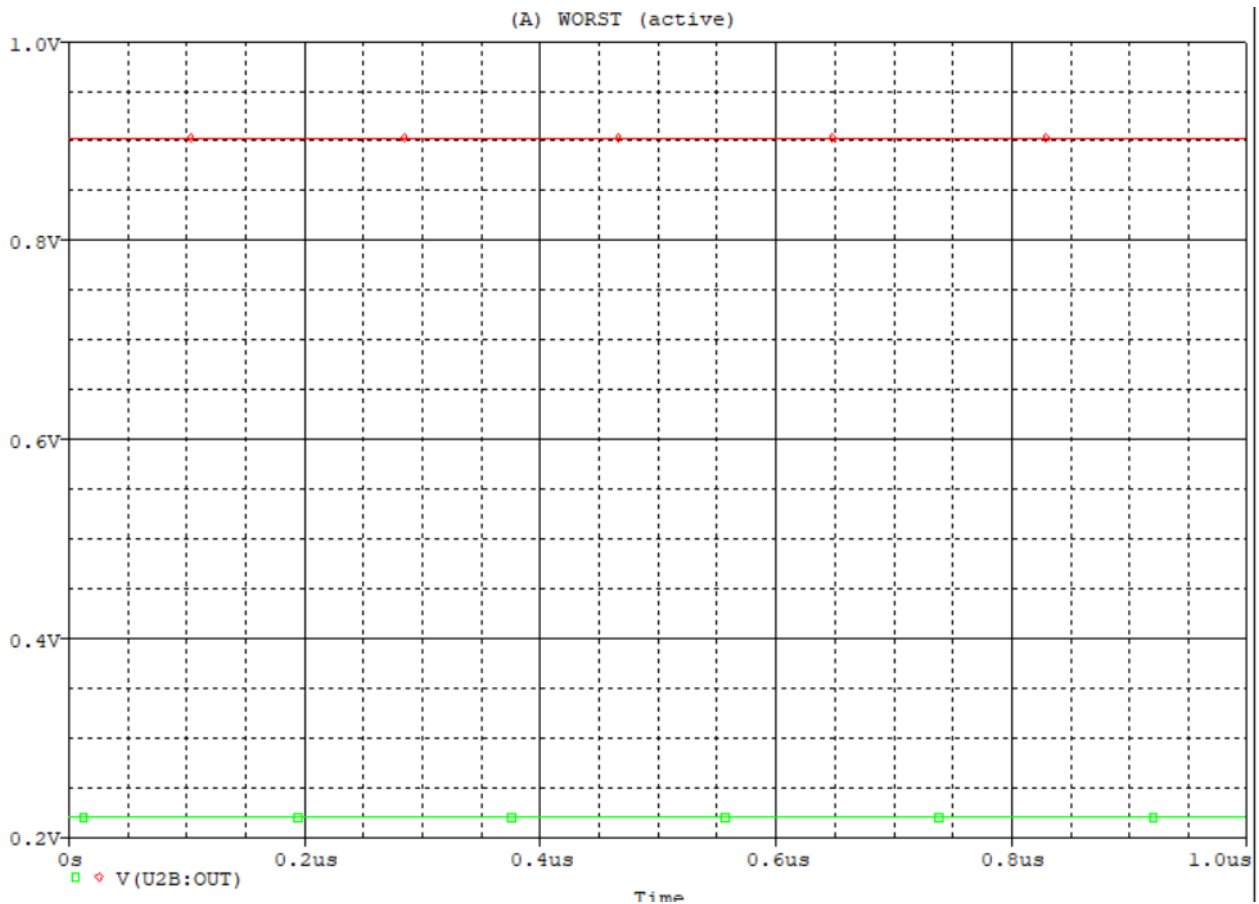


Figura 25. Analiza Sensitivity/ Worst-Case, cu analiză principală în timp

7. Bibliografie

- [1] Lucrări Laborator-Tehnici CAD
- [2] Cursuri DE
- [3] <https://www.farnell.com/datasheets/1660998.pdf>
- [4] <https://www.futurlec.com/LED/LED50.shtml>
- [5] <https://www.electronicsplanet.ch/en/resistor/e96-series.php>