

PROIECT DE SEMESTRU LA DISCIPLINA TEHNICI CAD 2023

Profesori îndrumători:

Decan Prof.dr.ing. Pop Ovidiu Aurel

Adelina Ilies

Realizat de:

Roșca David-Sorin

An II, Seria A, Grupa E.2121, Semigrupa II

Cuprins

1. CERINȚĂ	3
2. DATE DE PROIECTARE	3
3. SCHEMA BLOC A CIRCUITULUI	4
4. SCHEMA ELECTRICĂ A CIRCUITULUI	5
5. BREVIAR DE CALCUL	6
5.1 Oglinda de curent	6
5.2 Repertoriul de tensiune	9
5.3 Amplificatorul diferențial	9
5.4 Comparatorul inversor	12
5.5 Led și rezistență	15
5.6 Releul	16
5.7 V_{ref1}	18
5.8 V_{ref2}	19
6. TESTAREA CIRCUITULUI	20
6.1 Modelarea Ledului	20
6.2 Variația tensiunii de la bornele senzorului	25
6.3 Variația tensiunii după amplificator	27
6.4 Variația tensiunii după comparator	28
6.5 Analiza Monte-Carlo	30
7. BIBLIOGRAFIE	31

1. CERINȚĂ

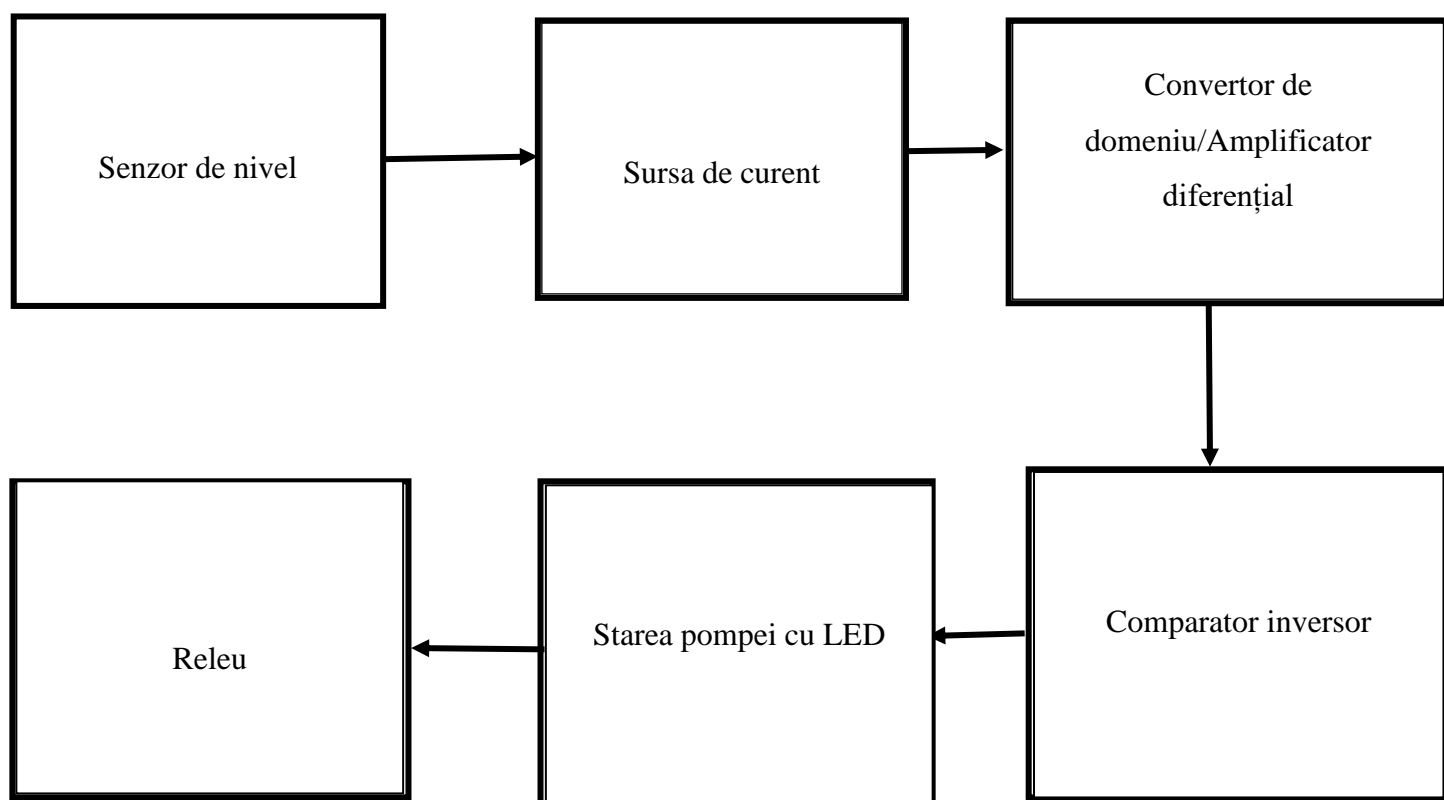
Să se proiecteze un sistem de control al nivelului de apă dintr-un rezervor. Știind că senzorul de nivel folosit poate să măsoare nivelul de lichid liniar, valoarea maximă fiind **440 [cm]**, sistemul se va proiecta astfel încât nivelul din rezervor să se mențină în intervalul **80-380 [cm]**. Senzorul de nivel se va polariza în curent. Variația liniară a rezistenței electrice a senzorului cu nivelul de lichid este **13k-23k[cm]**. și trebuie convertită într-o variație de tensiune în domeniul **[0 – (Vcc-2V)]**. În rezervor, nivelul de apă este menținut 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 (pornit/oprit) este semnalizată de un LED de culoare **portocalie**.

2.DATE DE PROIECTARE

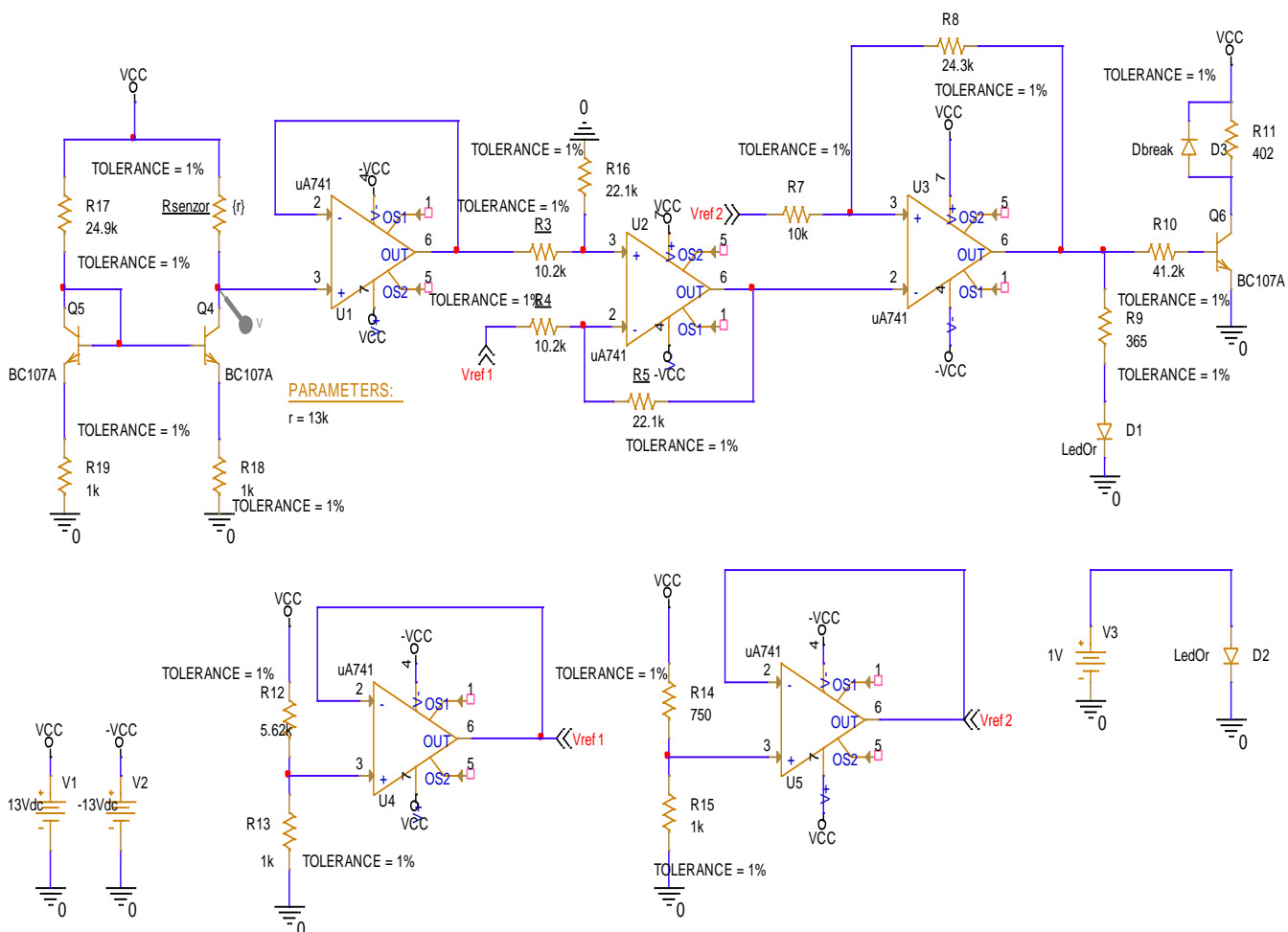
Nivel maxim de măsură	440[cm]
Domeniul nivelului de lichid din rezervor	80-380[cm]
Rezistența senzorului [Ω]	13k-23k
VCC [V]	13
Culoare LED de semnalizare	portocaliu

Tabel 1.

3. SCHEMA BLOC A CIRCUITULUI



4. SCHEMA ELECTRICĂ A CIRCUITULUI

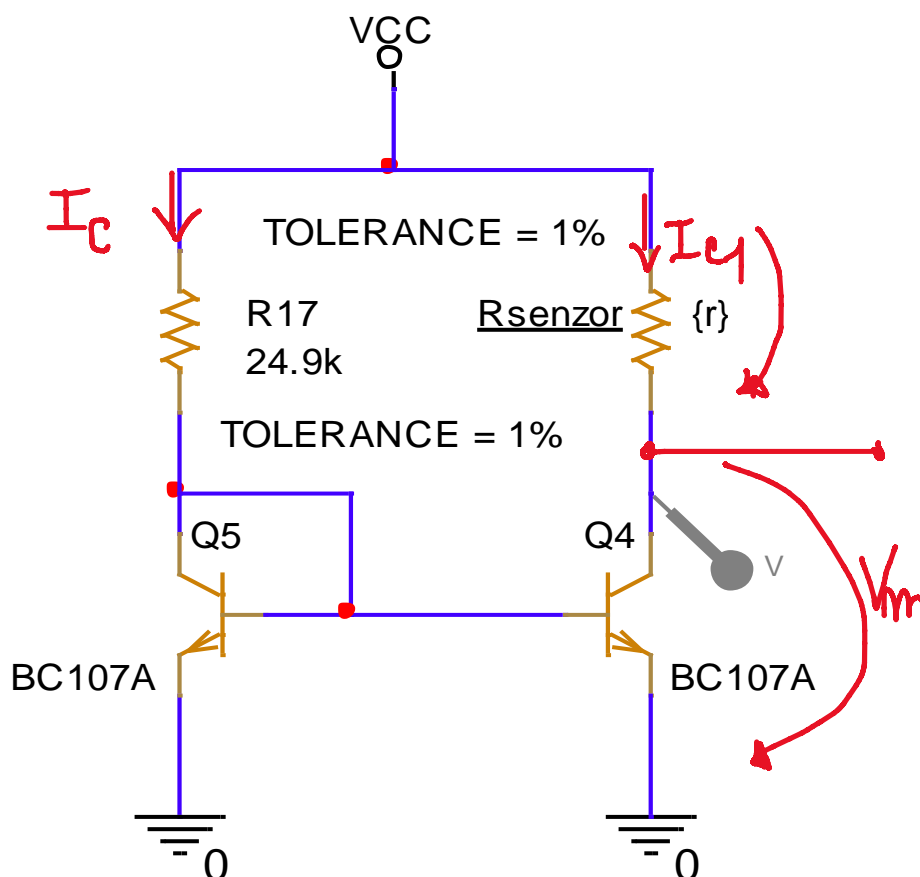


Title		
<Title>		
Size	Document Number	Rev
A	<Doc>	<Rev Code>
Date: Wednesday, May 17, 2023 Sheet 1 of 1		

Figura.1

5. BREVIAR DE CALCUL

5.1 Oglinda de curent



Senzorul este un dispozitiv care măsoară o mărime fizică și o transformă într-un semnal care poate fi citit de către un observator printr-un instrument sau poate fi prelucrat.

Pentru a realiza polarizarea în curent a senzorului, voi folosi o oglindă de curent cu tranzistoare BC170A de tip npn.

Pentru a afla variația senzorului voi dimensiona oglinda de curent:

$$I_C = I_{C_1} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_{17}}$$

$$V_m = V_{CC} - R_{\text{senzor}} * I_{C1} = V_{ce} > 2V$$

Dacă $V_m(\text{minim})$ atunci $R_{\text{senzor}} * I_{C1} = V_{\text{maxim}}$, dar V_{maxim} îi $V_{CC} - 2V$, adică 11V, astfel putem afla curentul I_{C1} .

$$I_{C1} = \frac{11V}{R_{\text{senzor}}(\text{maxim})} = \frac{11V}{23k} = 0.478mA = 478\mu A$$

$$R_{\text{senzor}}(\text{minim}) * I_{C1} = 13k * 478\mu A = 13 * 10^3 * 478 * 10^{-6} = 6214 * 10^{-3} = 6.2V$$

Pentru a afla V_m măsură la ieșirea de pe senzor voi calcula astfel:

$$V_m = V_{CC} - R_{\text{senzor}}(\text{minim}) * I_{C1} = 13V - 6.2V = 6.8V$$

Deci variația senzorului la ieșirea din oglindă este:

$$V_m \in [2; 6.8][V]$$

În final voi calcula rezistența R17, deoarece cunoaștem curentul $I_{c1} = 478\mu A$, tensiunea de alimentare $V_{cc} = 13V$ și tensiunea bază-emitor $V_{be} = 0.65V$.

$$I_{c1} = \frac{V_{cc} - V_{be}}{R_{17}}$$

$$R_{17} = \frac{V_{CC} - V_{be}}{I_{c1}} = \frac{13V - 0.65V}{478\mu A} = 25.5k\Omega$$

să aleg o valoare standard din E96 pentru rezistența R17=24.9k

În programul orcad variația senzorului îmi dă în intervalul: [2.1V;6.8V].

Pentru o precizie mai bună în program mi-am adaugat jos la oglindă două rezistențe de 1k.

Probe Cursor											
	Trace Color	Trace Name	Y1	Y2	Y1 - Y2		Y1(Cursor1) - Y2(Cursor2)	0.000			
		X Values	13.000K	13.000K	0.000		Y1 - Y1(Cursor1)	Y2 - Y2(Cursor2)	Max Y	Min Y	Avg Y
	CURSOR 1,2	V(U1:*)	6.8616	6.8616	0.000		0.000	0.000	6.8616	6.8616	6.8616
		MIN(V(Q4:c))	2.1663	2.1663	0.000		-4.6953	-4.6953	2.1663	2.1663	2.1663

Figura 1. Variația senzorului în OrCad

5.2 Repertorul de tensiune

Pentru a realiza adaptarea de impedanță am adăugat un repetor de tensiune:

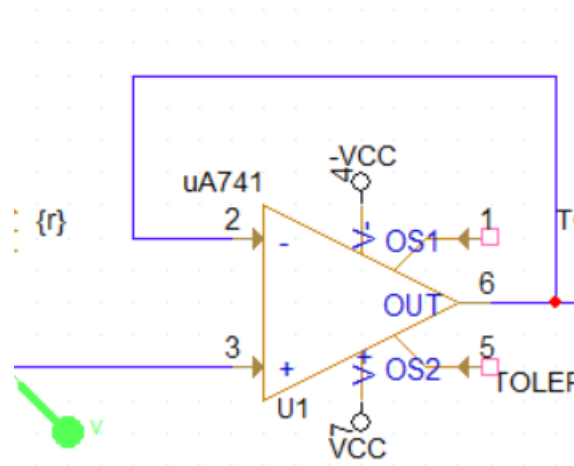


Figura 2. Repertor de tensiune

5.3 Amplificatorul diferențial

Am folosit un amplificator diferențial pentru a extinde domeniul senzorului la 0-VCC-2V.

Totodată am dimensionat circuitul pentru a afla rezistențele.

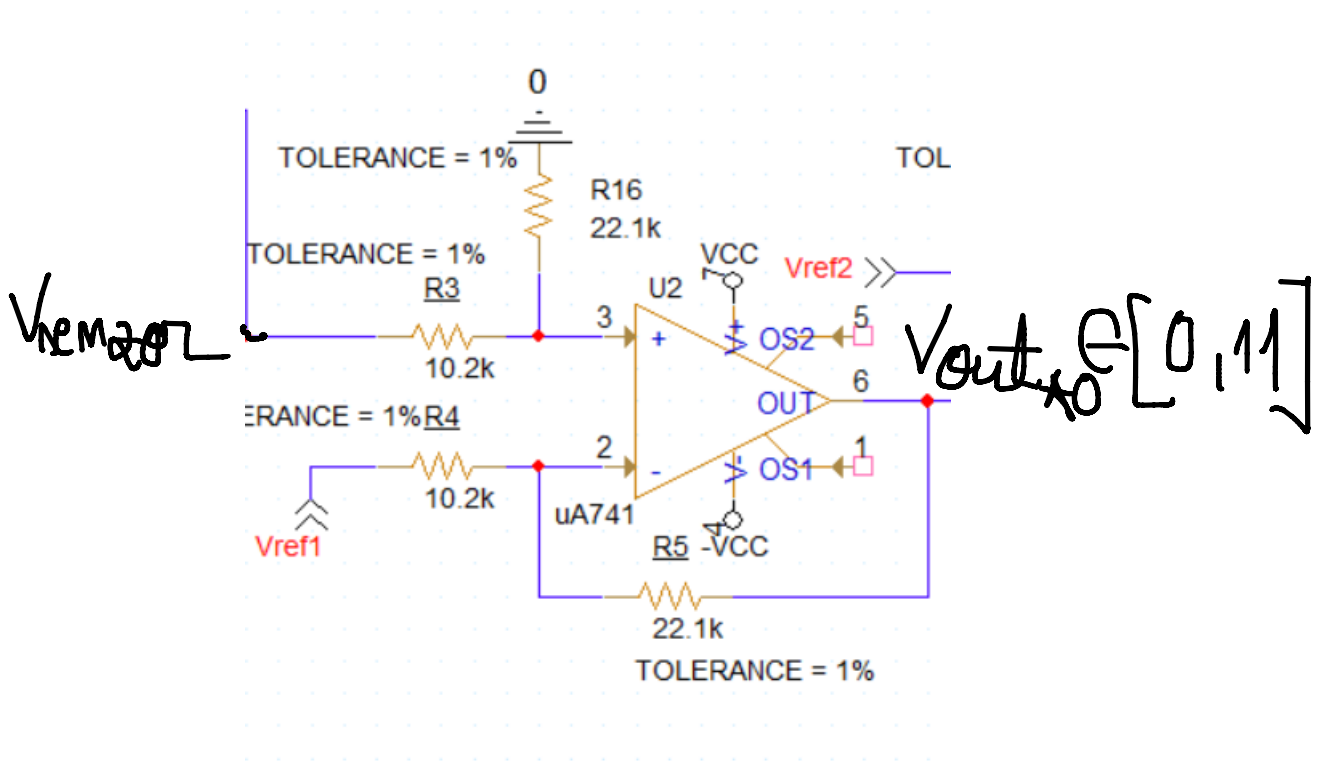


Figura 3. Amplificator diferențial

$$V_{outAO} \in [0,11][V]$$

$$V_{senzor} \in [2V; 6.8V]$$

La un AO dif. $V^+ = V^-$

$$V^+ = \frac{R_{16}}{R_{16} + R_3} * V_{senzor}$$

$$\text{Cu ajutorul T.Millman: } v^- = \frac{\frac{V_{ref1}}{R_4} + \frac{V_{out}}{R_{16}}}{\frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_{16}}} \Rightarrow \frac{R_5}{R_5 + R_4} *$$

$$V_{senzor} = \frac{\frac{V_{ref1}}{R_4} + \frac{V_{out}}{R_{16}}}{\frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_{16}}}$$

$$\Rightarrow V_{out} = \frac{R_5}{R_4} * (V_{senzor} - V_{ref1})$$

Până la urmă o să-mi iasă două ecuații de ordinul 1. Voi afla v_{ref1} și rezistențele de la AO.

$$\begin{cases} 11 = \frac{R_5}{R_4} * (6.8V - V_{ref1}) \\ 0 = \frac{R_5}{R_4} * (2V - V_{ref1}) \end{cases} \Rightarrow$$

$$11 = \frac{R_5}{R_4} * 6.8V - \cancel{V_{ref1} * \frac{R_5}{R_4}} - 2 * \frac{R_5}{R_4} + \cancel{V_{ref1} * \frac{R_5}{R_4}}$$

$$11 = \frac{R_5}{R_4} * (6.8V - 2V)$$

$$11 = 4.8 * \frac{R_5}{R_4} \Rightarrow \frac{R_5}{R_4} = \frac{11}{4.8} = 2.29k$$

$$0 = 2.29 * (2V - V_{ref1}) \Rightarrow 0 = 2.29 * 2 - 2.29 * V_{ref1}$$

$$V_{ref1} \Rightarrow 0 = 4.58 - 2.29 * V_{ref1} \Rightarrow V_{ref1} = \frac{4.58}{2.29} = 2V$$

$$\frac{R_5}{R_4} = 2.29$$

Alegem: $R_4 = 10.2k$

$$R_5 = 10.2k * 2.29 = 23.358\Omega$$

Din tabelul cu rezistențe standard E96 aleg $R_5 = 22.1k$

La un amplificator diferențial în cazurile practice, se folosesc: $R_3 = R_4$ și $R_5 = R_6$

$$\begin{cases} R3 = R4 = 10.2k \\ R5 = R16 = 22.1K \end{cases} \Rightarrow E96$$

5.4 Comparatorul inversor

În rezervor, nivelul de apă este menținut în domeniul specificat cu ajutorul unei pompe comandată de un comparator.

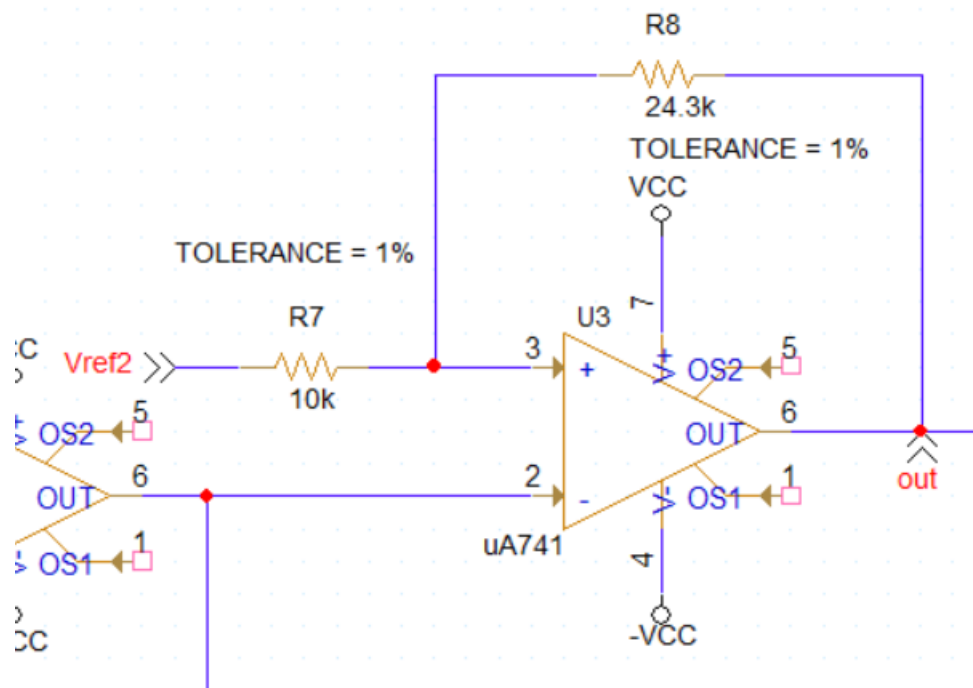


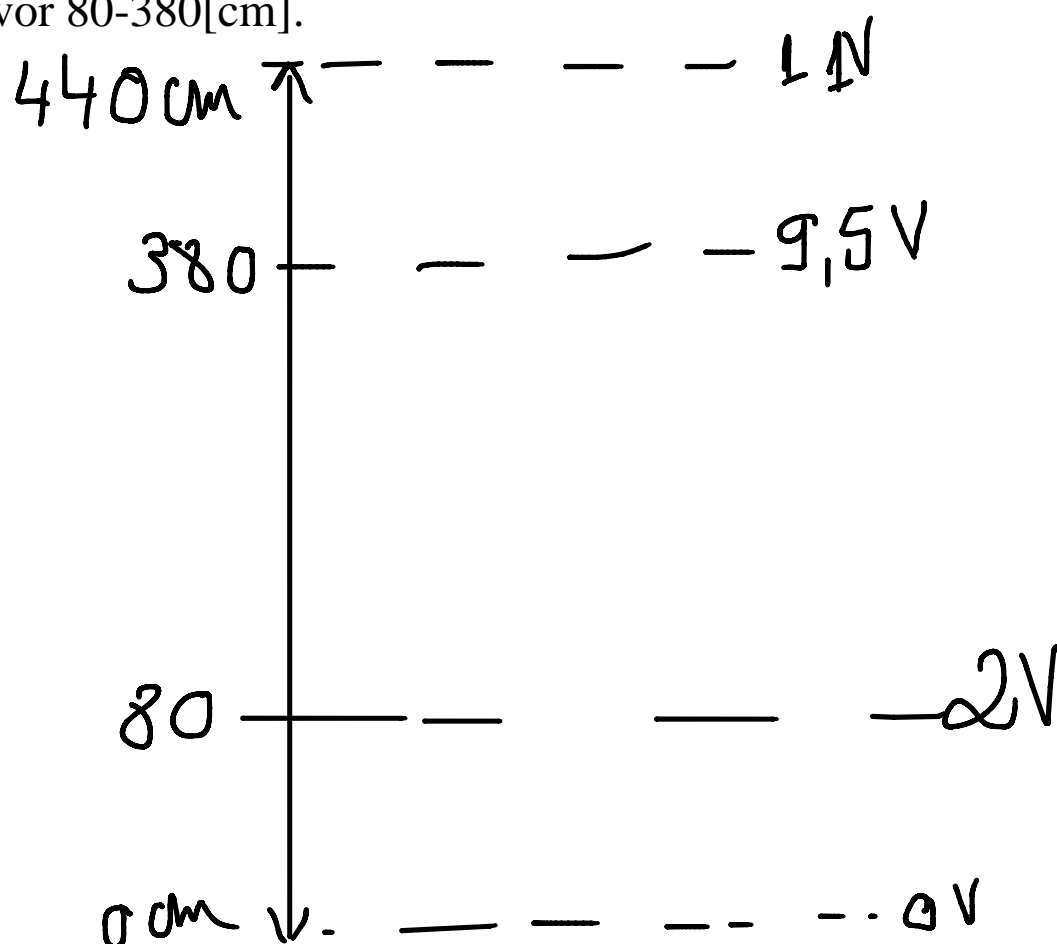
Figura 4. Comparator inversor

Pentru a afla tensiunile de prag ale comparatorului, voi efectua mai întâi un calcul pentru a afla cu cât V/cm variază domeniul.

0 cm 0V
440 cm 11V

$$V_{\text{variația}} = \frac{11V}{440cm} = 0.025V/cm$$

Pragurile se află cu ajutorul domeniului nivelului de lichid din rezervor 80-380[cm].



$$\begin{cases} V_{pragSus} = 380 * 0.025 = 9.5V \\ V_{pragJos} = 80 * 0.025 = 2V \end{cases}$$

Și la comparator vom afla rezistențele și tensiunea de referință dacă știm tensiunea de la alimentarea comparatorului care este plus și minus Vcc, dar și pragurile acestuia.

$$\begin{cases} V^- = V_{amp_dif} \\ V^+ = \frac{\frac{V_{ref2}}{R7} + \frac{V_{out}}{R8}}{\frac{1}{R7} + \frac{1}{R8}} \end{cases}$$

$$\frac{V_{out}}{R8} + \frac{V_{ref2}}{R7} = V_{amp_dif} \left(\frac{1}{R7} + \frac{1}{R8} \right) \Rightarrow$$

$$V_{prag} = V_{ref2} * \frac{R8}{R8 + R7} + V_{out} * \frac{R7}{R7 + R8}$$

$$\begin{cases} 9.5 = V_{ref2} * \frac{R8}{R8 + R7} + 13 * \frac{R7}{R7 + R8} \\ 2 = V_{ref2} * \frac{R8}{R8 + R7} - 13 * \frac{R7}{R7 + R8} \end{cases} \Rightarrow$$

$$7.5V = \cancel{V_{ref2} * \frac{R8}{R8+R7}} + 13 * \frac{R7}{R7+R8} - \cancel{V_{ref2} * \frac{R8}{R8+R7}} + 13 * \frac{R7}{R7+R8}$$

$$7.5 = \frac{R7}{R7 + R8} * 2 * 13 \Rightarrow \frac{R7}{R7 + R8} = 0.29$$

Aleg: R7 E96: 10k

$$\frac{10k}{10k + R8} = 0.29 \Rightarrow 2.9 + 0.29R8 = 10k$$

$$0.29 * R8 = 7.1 \Rightarrow R8 = \frac{7.1}{0.29} = 24.5k$$

Aleg R8 din E96: 24.3k

Acuma putem afla valoare referinței:

$$2 = Vref2 * 0.96 - 13 * 0.4 \Rightarrow 2 = 0.96 * Vref2 - 5.2$$

$$\Rightarrow Vref2 = 7.5V$$

5.5 Led și rezistență

Starea pompei (pornit/oprit) este semnalizată de un LED de culoare portocalie. Dacă nivelul de lichid trece din domeniul specificat ledul se aprinde.

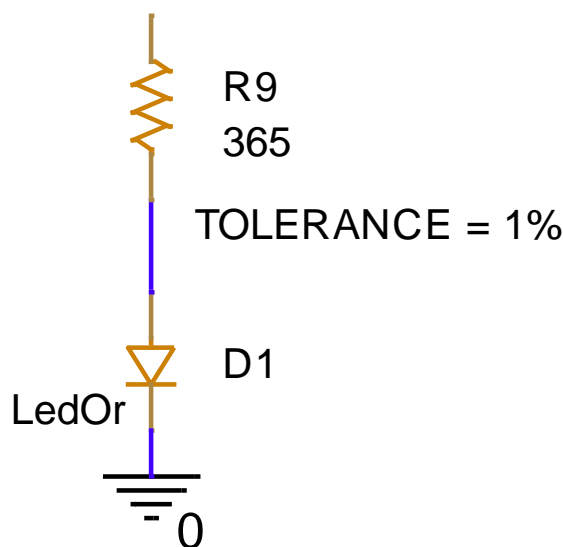


Figura 5. Led și rezistență

Pentru a afla rezistența am căutat tensiunea pe led $V_{led}=2.2V$ și curentul prin Led $i_{Led}=30mA$

$$R9 = \frac{V_{out} - V_{led}}{i_{Led}} = \frac{13V - 2.2V}{30mA} = 360\Omega$$

Aleg R9 din tabelul E96: 365Ω

5.6 Releul

În rezervor, nivelul de apă este menținut în domeniul specificat cu ajutorul unei pompe comandată de un releu electromagnetic. Ansamblul pompă – releu se va modela cu ajutorul unui rezistor.

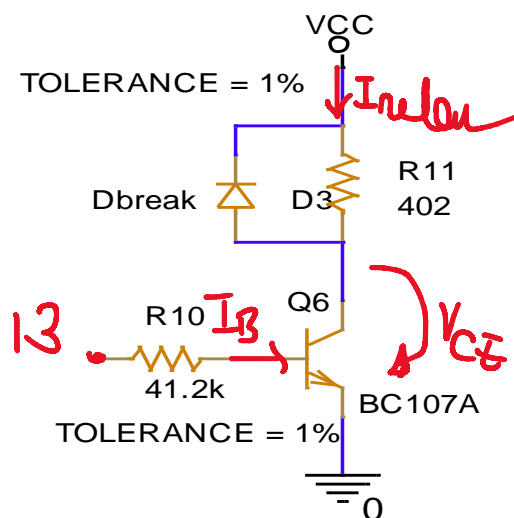


Figura 6. Releul

Pentru releu am luat din foaia de catalog rezistența $R11=402\Omega$ și curentul $I_{releu}=30\text{mA}$, $\beta = 100$, iar cu ajutorul PSF-ului voi calcula $R10$.

$$V_{cc} = R11 * I_{releu} + V_{ce}$$

$$V_{in} = I_{baza} * R10 + V_{be}$$

$$I_{releu} = \beta * I_{baza}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{ce} = V_{cc} - I_{releu} * R_{11} \\ V_{ce} = 13V - 30m * 402 = 1V \\ I_{releu} = \beta * I_{baza} \Rightarrow I_{baza} = \frac{I_{releu}}{\beta} = \frac{30m}{100} = 0.3mA \\ V_{in} = I_{baza} * R_{10} + V_{be} \\ I_{baza} = \frac{V_{in} - V_{be}}{R_{10}} \Rightarrow 0.3mA = \frac{13 - 0.7}{R_{10}} \\ R_{10} = \frac{13 - 0.7}{0.3m} = 41000\Omega \\ E96: R_{10} = 41.2k\Omega \end{array} \right.$$

5.7 Vref1

La amplificatorul diferențial voi face un divizor de tensiune pentru Vref1, astfel pot să aflu cele două rezistențe.

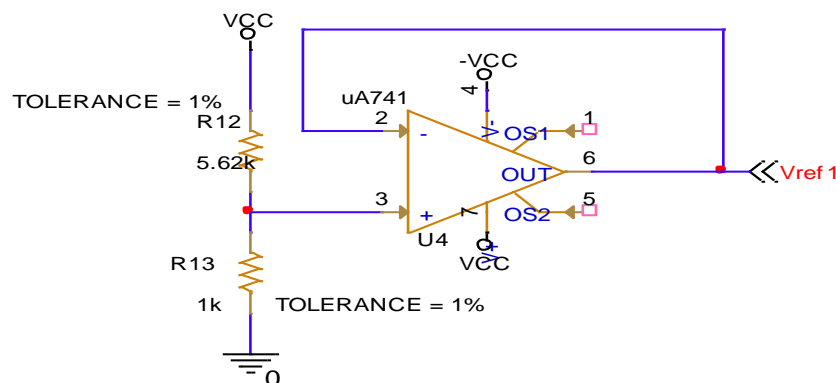


Figura 7. Vref1

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{ref1} = 2V \\ V_{cc} = 13V \\ V_{ref1} = \frac{R_{13}}{R_{13} + R_{12}} * V_{cc} \end{array} \right. \Rightarrow$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 2 = \frac{R_{13}}{R_{13} + R_{12}} * 13 \\ \frac{R_{13}}{R_{13} + R_{12}} = \frac{2}{13} \\ R_{12} = \frac{0.85}{0.15} * R_{13} \\ E96: R_{13} = 1K \\ R_{12} = 5.6K \Rightarrow E96: R_{12} = 5.62k \end{array} \right.$$

5.8 Vref2

La fel am făcut și pentru comparatorul inversor. Am făcut un divizor de tensiune pentru Vref2.

Pentru a afla cele două rezistențe am să mă folosesc de Vref2 calculat la punctul anterior, 7.5V și de alimentare.

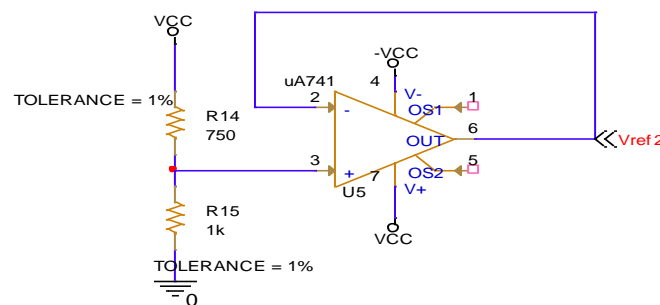


Figura 8. Vref2

$$\left\{ \begin{array}{l} 7.5V = \frac{R15}{R15 + R14} * 13 \\ \frac{R15}{R15 + R14} = 0.57 \\ ALEG R15 = 1k \\ R14 = 750\Omega \in E96 \end{array} \right.$$

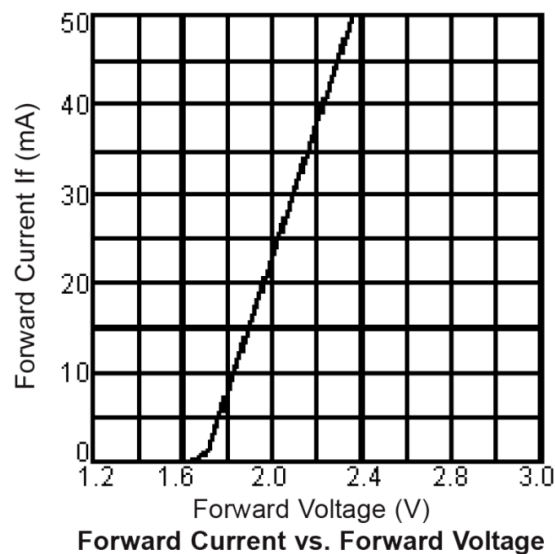
6. TESTAREA CIRCUITULUI

6.1 Modelarea Ledului

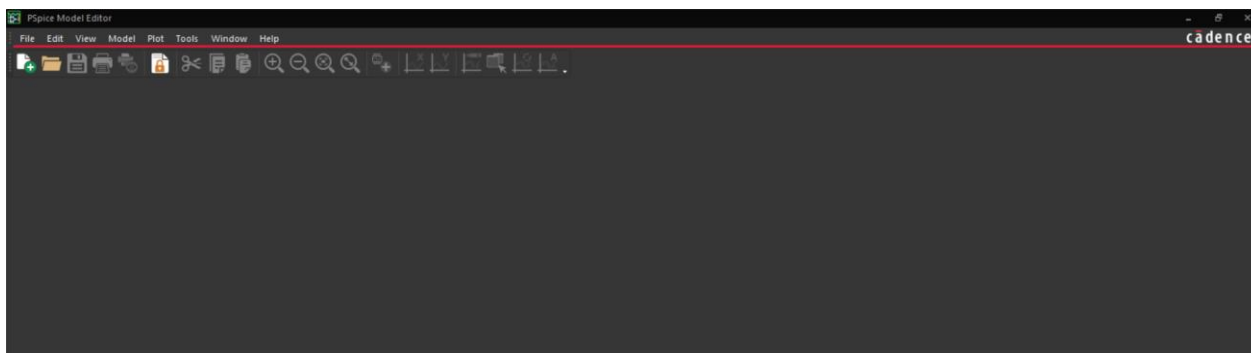
Pașii ce i-am urmat în modelarea ledului meu portocaliu sunt:

1. Am căutat o foaie de catalog și am extras graficul FORWARD VOLTAGE / FORWARD CURRENT.

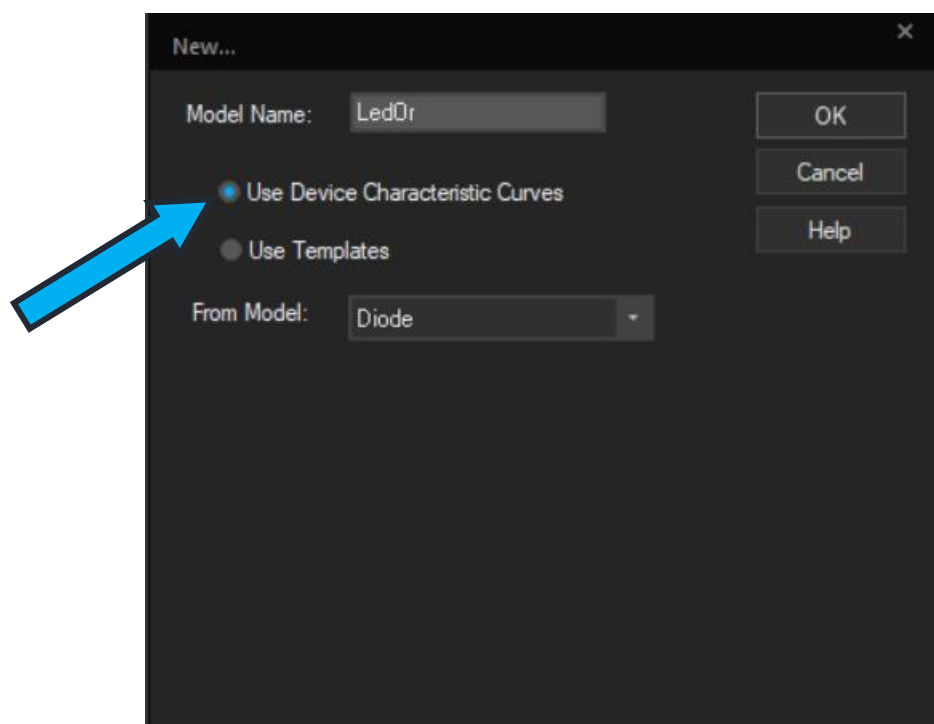
Orange (GaAsP/CaP $\lambda_P = 635nm$)



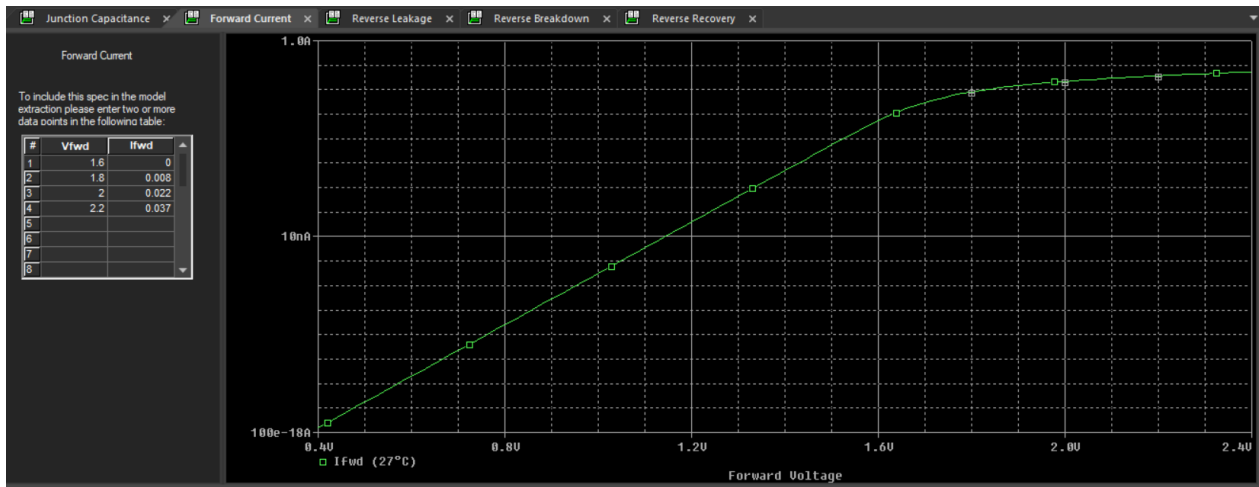
2. Deschidem Model Editor.




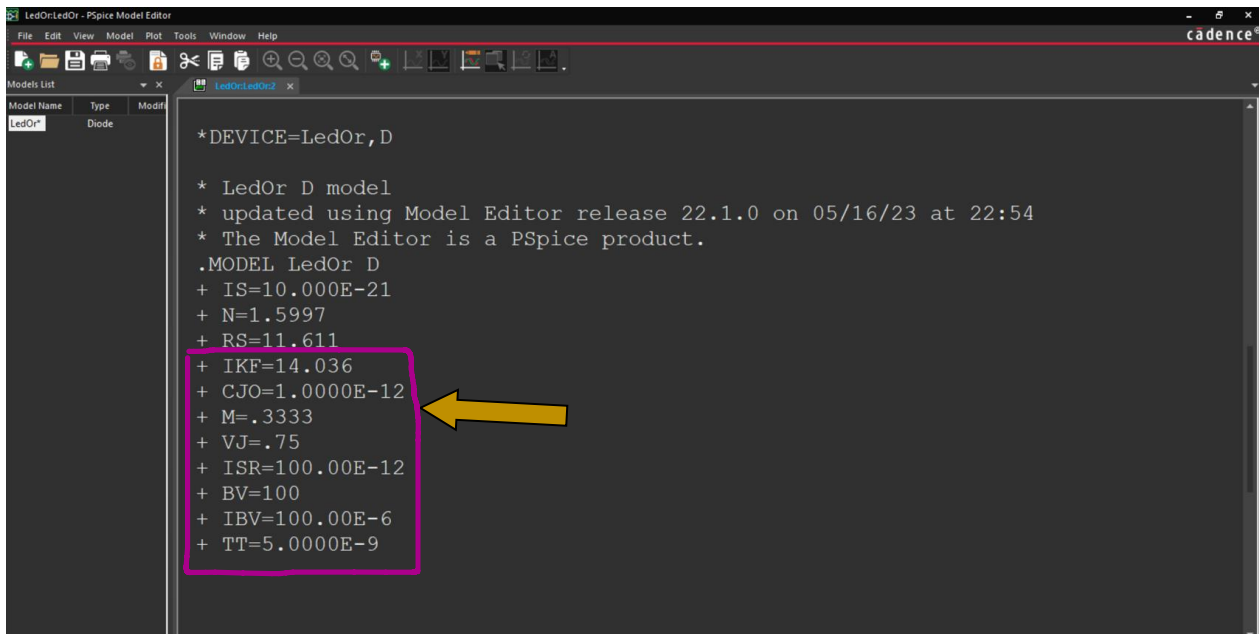
3. File → New → Model → New → Bifăm Use Device Characteristic Curves.



4. Completăm tabelul V_{fwd} și I_{fwd} de pe graficul de foaia de catalog. Apoi apăsăm Tools → Extract Parametres → Save.







5. Viwe  Edit Model(Vom șterge tot de sub Rs, rămâne doar Is, N, Rs).

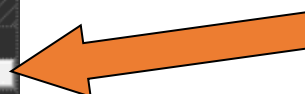


```

*DEVICE=LedOr, D
* LedOr D model
* updated using Model Editor release 22.1.0 on 05/16/23 at 22:54
* The Model Editor is a PSpice product.
.MODEL LedOr D
+ IS=10.000E-21
+ N=1.5997
+ RS=11.611
+ IKF=14.036
+ CJO=1.0000E-12
+ M=.3333
+ VJ=.75
+ ISR=100.00E-12
+ BV=100
+ IBV=100.00E-6
+ TT=5.0000E-9
    
```

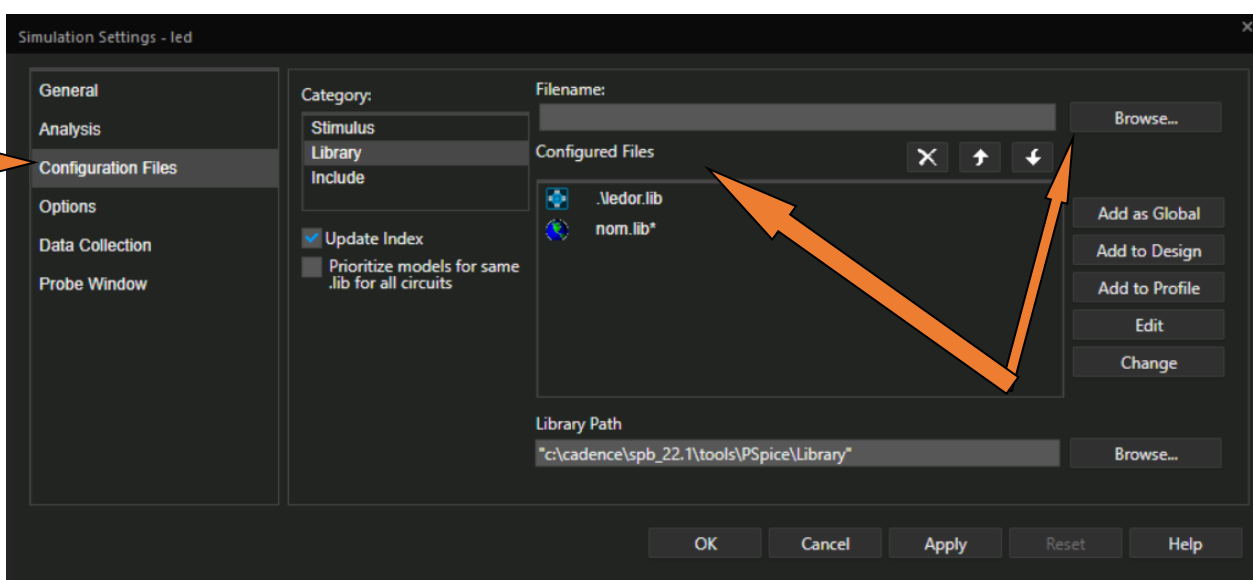
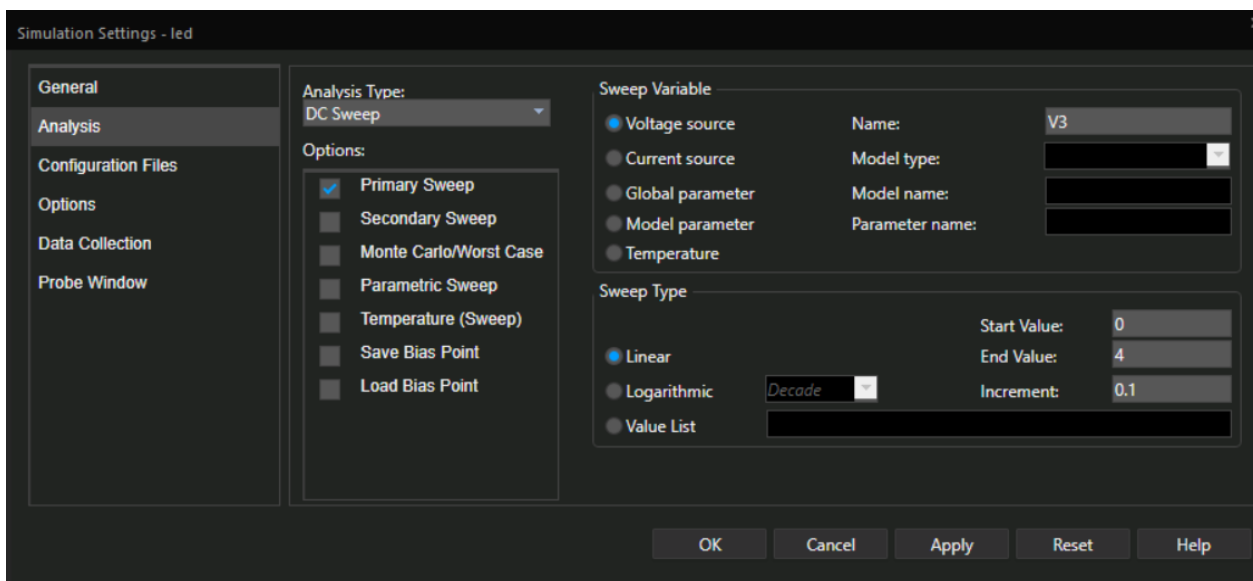
6. Punem în proiectul orcad unde este circuitul o componentă Dbreak. Dăm click dreapta pe această componentă și la Implementation Path ne punem fișierul .lib creat în model editor.

A	
	 SCHEMATIC1 : PAGE1
AREA	
Color	Default
Designator	
Graphic	Dbreak.Normal
ID	
Implementation	LedOr
Implementation Path	D:\Anu\Anul II\Sem II\CA 
Implementation Type	PSpice Model
Location X-Coordinate	890
Location Y-Coordinate	410
Name	INS19654
Part Reference	D2
PCB Footprint	
Power Pins Visible	
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

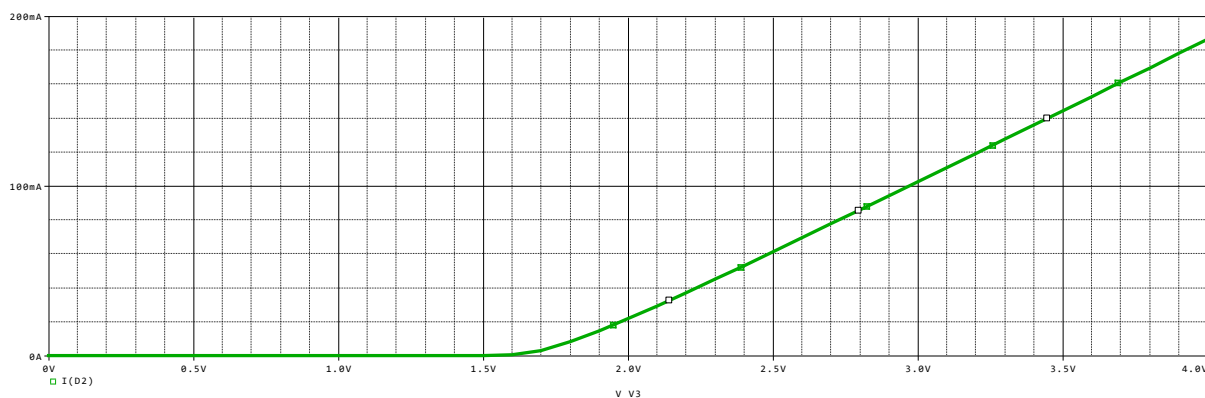


7. Revenim la diodă și modificăm numele “Dbreak” cu numele modelului create “LedOr”.

8. Facem o simulare, iar în profilul de simulare adăugăm la Configuration Files fișierul .lib, apoi apăsăm Add to Design, apoi Apply și Ok.



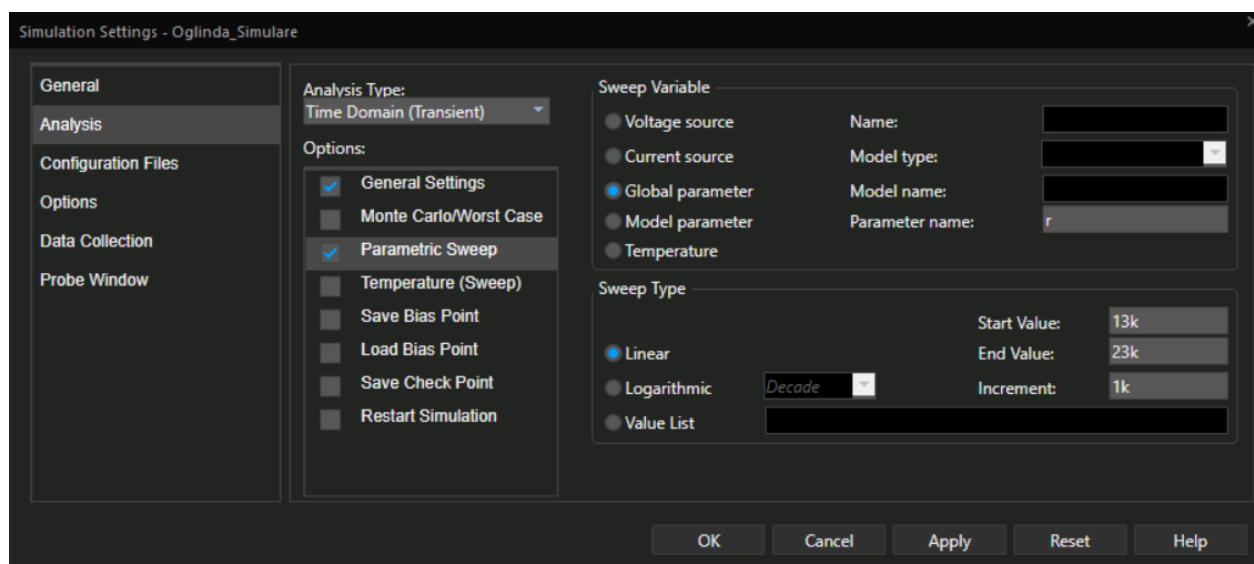
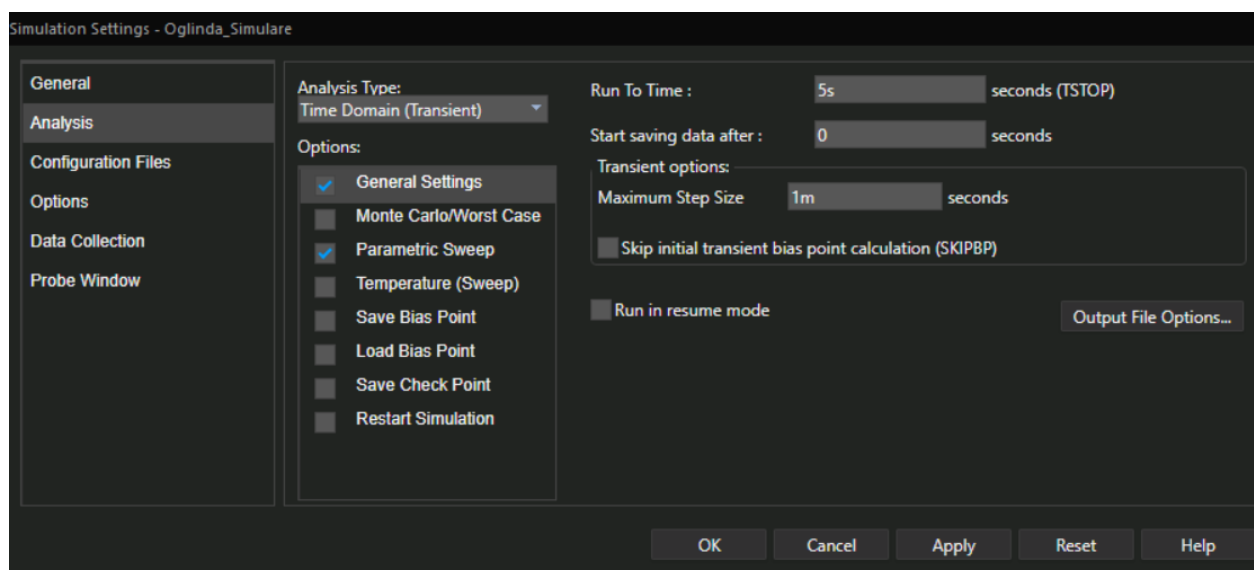
9. Rezultatul final al modelării diodei:



6.2 Variația tensiunii de la bornele senzorului

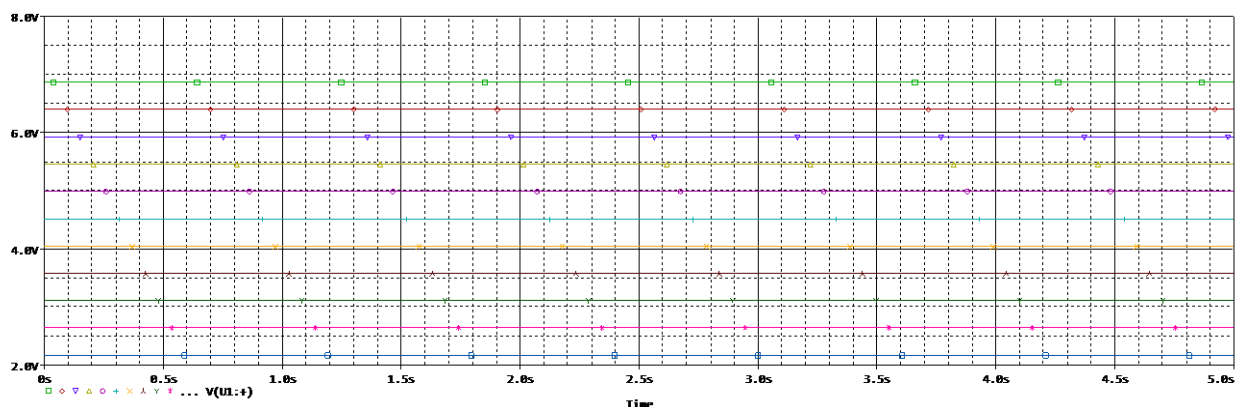
Analiză în timp

Facem o analiză în timp pentru 5s în funcție de parametrul r pentru valorile de 13k și 23k.



După cum vedem și în imagine vom varia parametrul r cu ajutorul *Parametric Sweep* în domeniul transient.

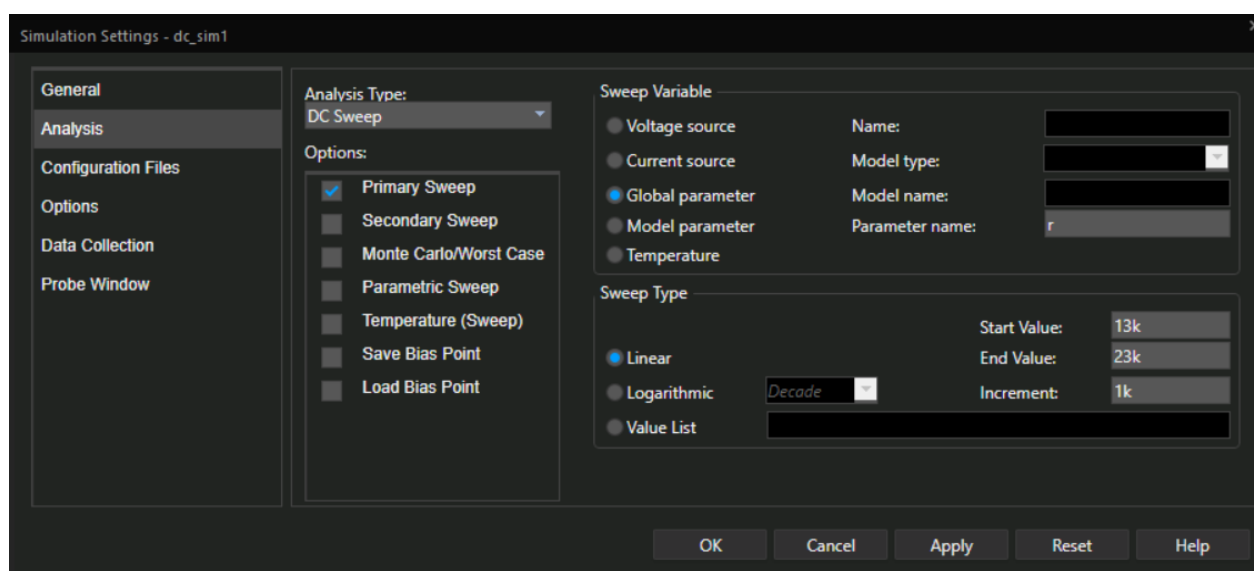
După rularea analizei putem observa valoarea tensiunii în timp pentru valorile de 13k și 23k.

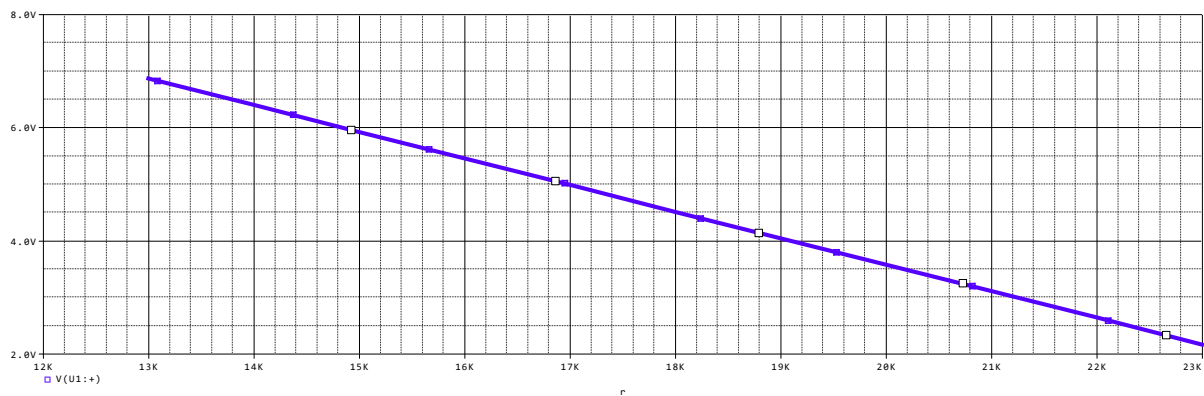


Tensiunea pe sensor variază de la 2.1V până la 6.8V.

2. Analiza DC sweep

Facem o analiză DC Sweep în funcție de parametrul r unde vom varia valoarea rezistenței senzorului de la 13k la 23k cu pas de 1k. În urma analizei observăm că tensiunea variază între [2.1V;6.8V].

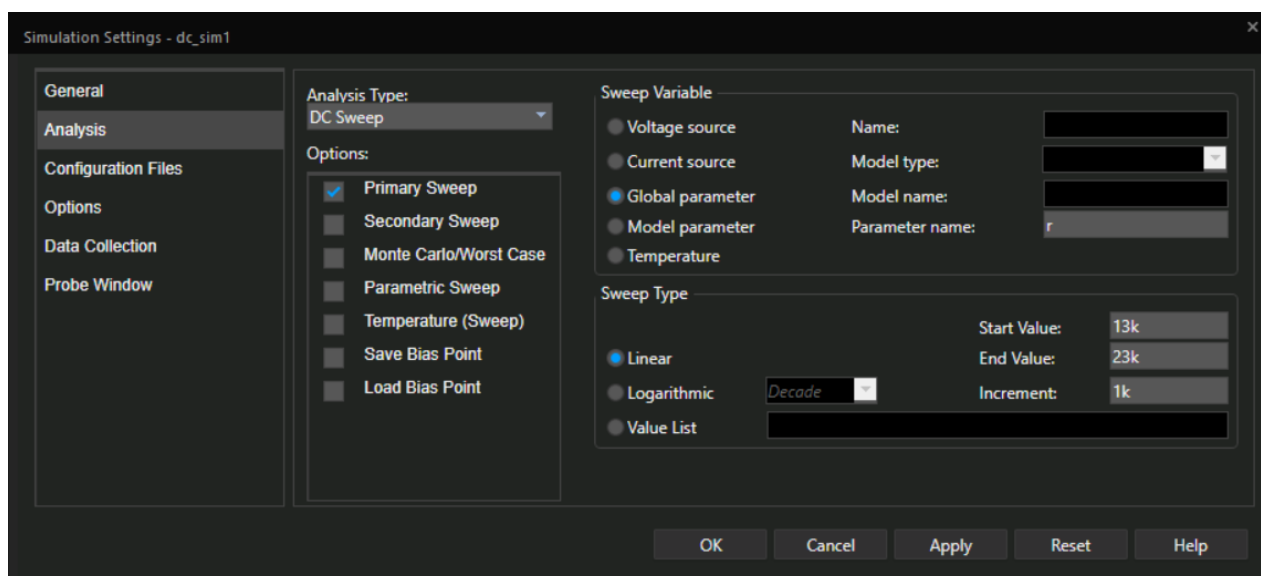


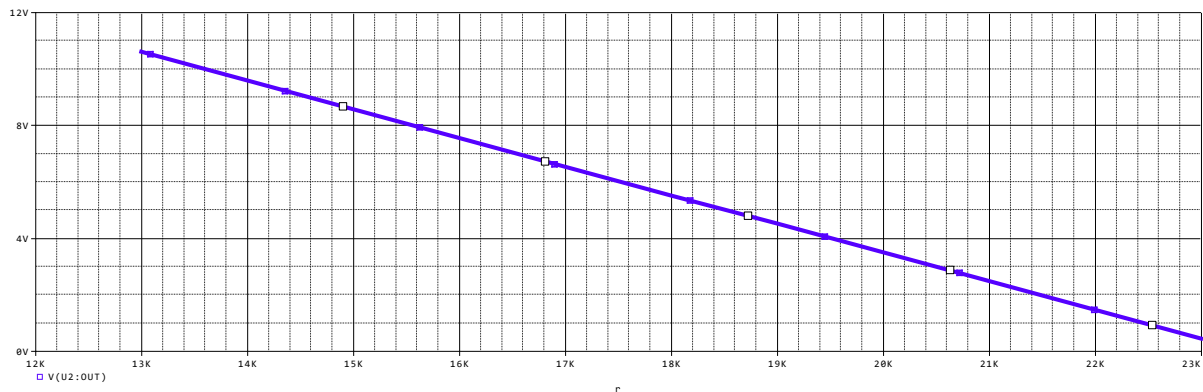


6.3 Variația tensiunii după amplificator

Analiza DC sweep

Facem o analiză DC Sweep în funcție de parametrul r unde vom varia valoarea rezistenței senzorului de la 13k la 23k cu pas de 1k. Noi trebuie să extindem domeniul până la $0-V_{CC}-2V$.





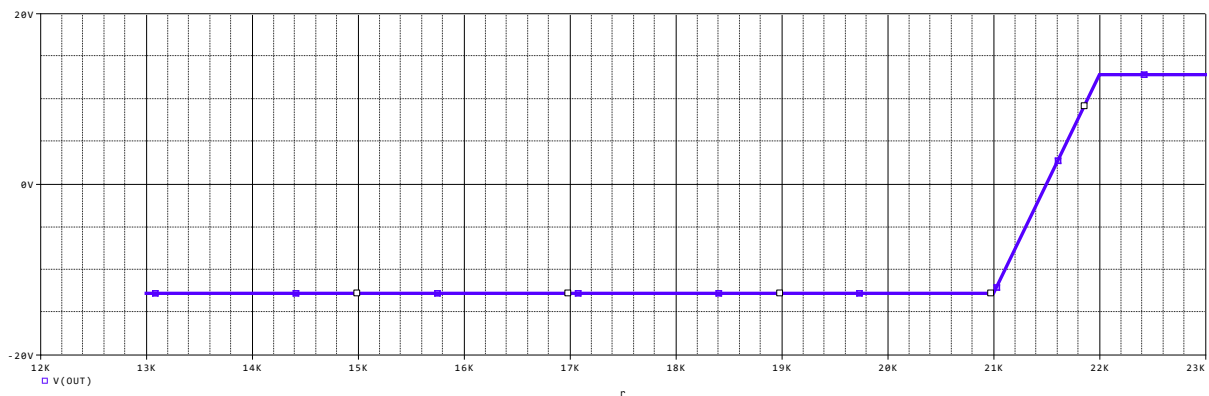
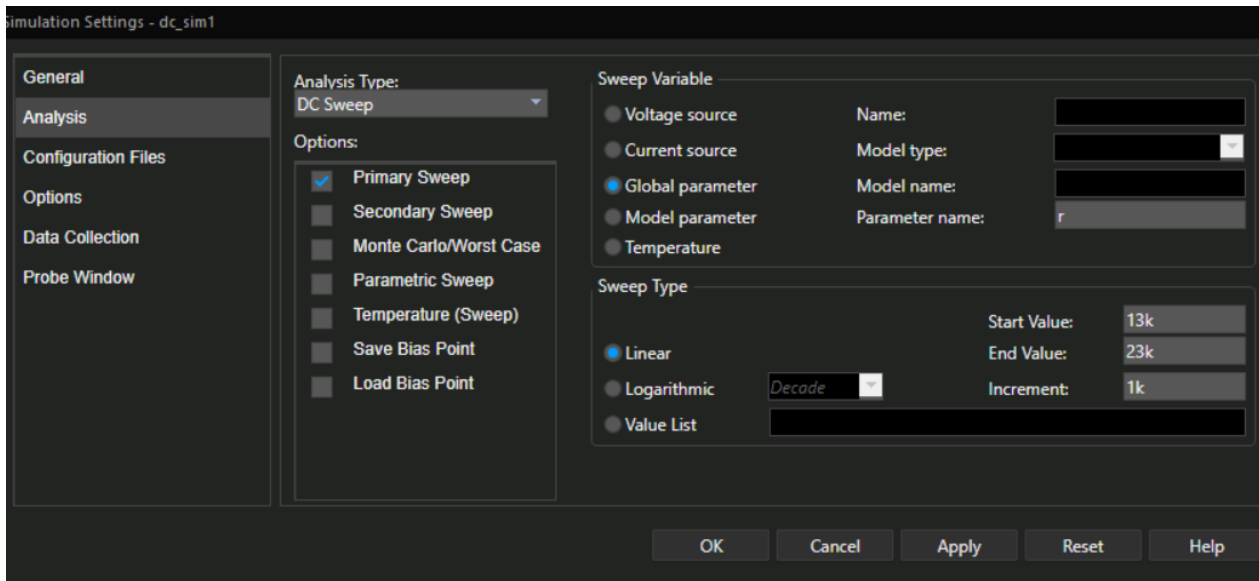
Observăm că domeniul s-a extins până la 0-VCC-2V, deci circuitul funcționează corect. Zero nu o să fie niciodată, deoarece în practică nu o să avem acest aspect.

6.4 Variația tensiunii după comparator

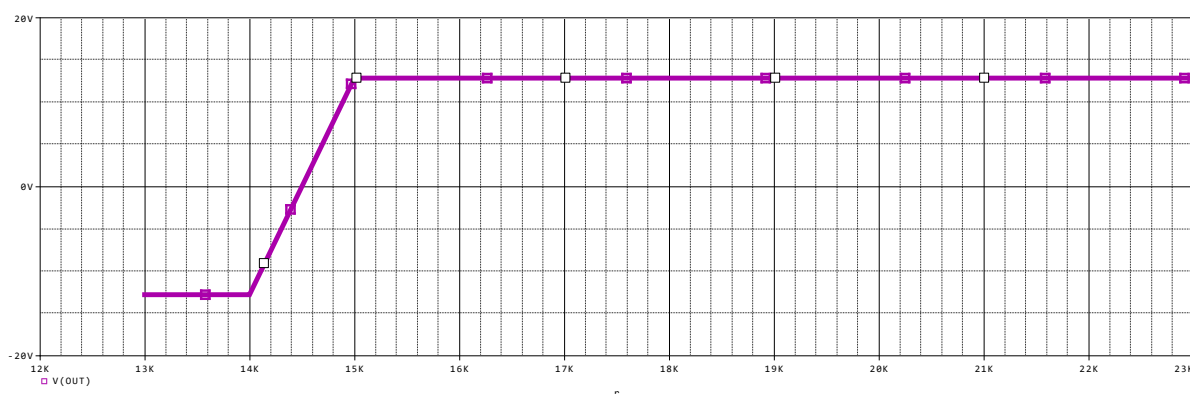
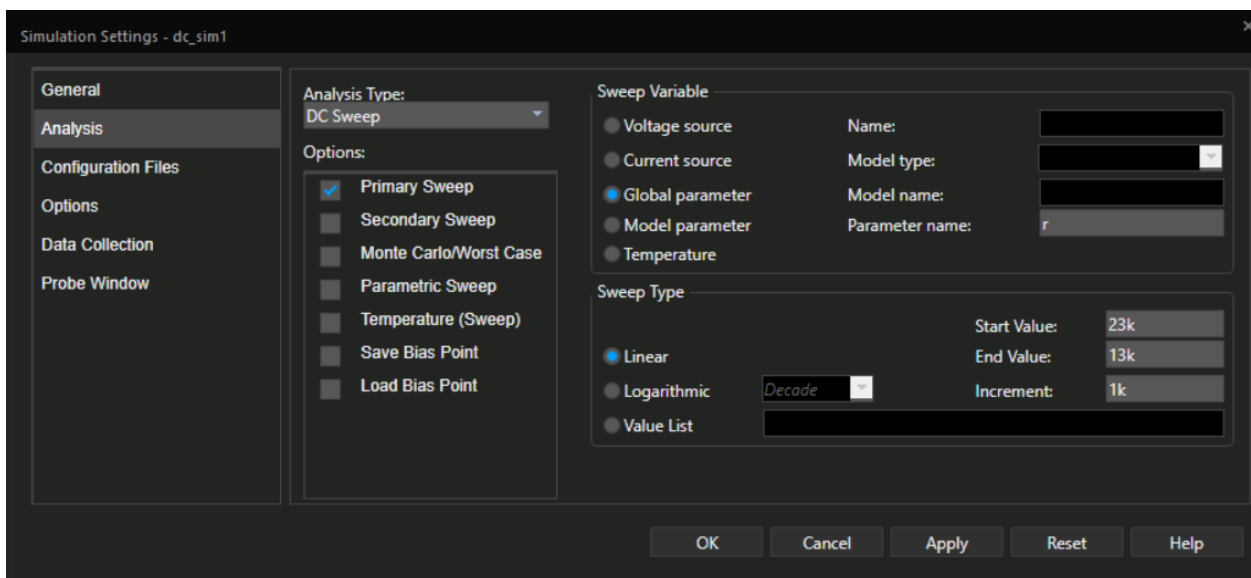
Analiza DC Sweep

Facem o analiză DC Sweep în funcție de parametrul r unde vom varia valoarea rezistenței senzorului de la 13k la 23k cu pas de 1k. Vom observa o histereza ce ne arată pragul de sus, dar și de jos.

Dacă în simulare am pus prima dată rezistența de 13k vom observa pragul de jos.



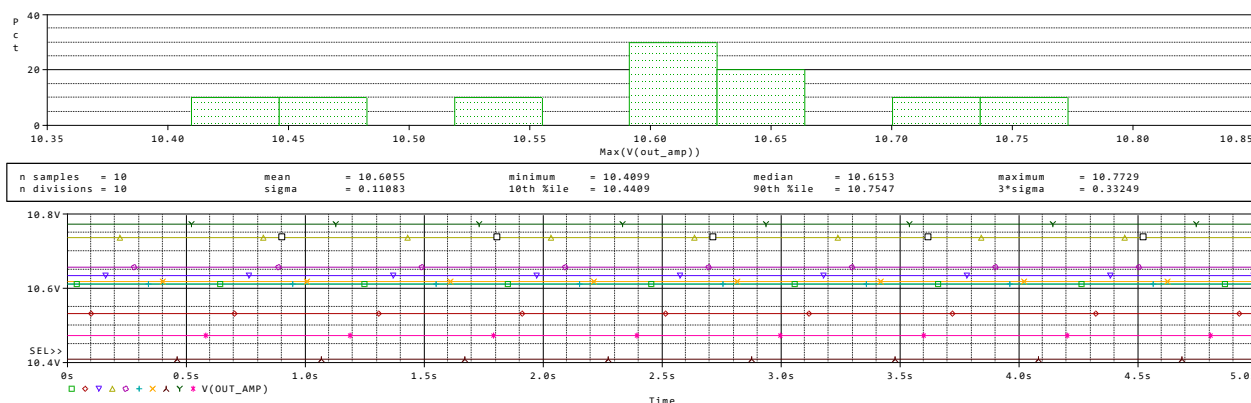
Dacă schimbăm ordinea în simulare a rezistențelor, vom observa pragul de sus a comparatorului.



6.5 Analiza Monte-Carlo

Analiza Monte-Carlo este un mod de analiză statistică pentru a vedea cum se comportă circuitul, după amplificare la variații ale valorilor componentelor în funcție de domeniul de toleranță.

Afișăm tensiunea maximă la ieșirea circuitului după amplificare.



7. BIBLIOGRAFIE

1. *Carte* : The Art of Electronics, PAUL HOROWITZ
WINFIELD HILL

2. *Cursuri*: Dispozitive Electronice de Ovidiu Pop,
Amplificatoare Operaționale.

Circuite Electronice Fundamentale de Ovidiu Pop, Oglinzi de
curent.

3. Link-uri: [E96-Series \(electronicsplanet.ch\)](http://electronicsplanet.ch)