

Proiect - Tehnici CAD

Circuit de reglare a nivelului apei dintr-un rezervor



Nume student: Nașca Marian-Florin

Seria: A

Grupa: 2121

Semi-grupa: 2

Profesori îndrumători

Prof. Dr. Ing. Ovidiu Pop

Prof Ing. Adelina Ioana Ilieș

Cuprins

1 Cerința de proiectare	2
2 Date de proiectare	3
3 Descrierea și funcționarea circuitului	4
4 Designul circuitului	5
4.1 Schema bloc a circuitului	5
4.2 Schema electrică a circuitului	5
5 Componentele utilizate	6
5.1 Lista de componente.....	6
5.2 Sursa de curent	7
5.2.1 Dimensionare sursă de curent.....	7
5.3 Repetor de tensiune	8
5.4 Amplificatorul Diferențial.....	8
5.4.1 Dimensionare Amplificator Diferențial.....	9
5.4.2 Divizorul de tensiune al Amplificatorului Diferențial.....	9
5.5 Comparator.....	10
5.5.1 Dimensionare comparator	11
5.5.2 Divizor de tensiune comparator.....	11
5.6 Dioda LED Albastră.....	12
5.7 Releu.....	13
6 Rezultate simulări	14
6.1 Simulare oglindă de curent	14
6.2 Simulare Amplificator Diferențial.....	17
6.3 Simulare comparator	18
6.3.1 Afisare VPJ.....	19
6.3.2 Afisare VPS	20
6.4 Simulare diodă albastră	21
6.5 Analiza Monte Carlo	22
6.6 Analiza Worst Case	23
7 Bibliografie.....	24
7.1 Fișe de catalog.....	24

1 Cerința de proiectare

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 specificată la punctul **a**, sistemul se va proiecta astfel încât nivelul din rezervor să se mențină în intervalul specificat la punctul **b**.

Senzorul de nivel se va polariza în curent. Variația liniară a rezistenței electrice a senzorului cu nivelul de lichid este specificată la punctul **c** și trebuie convertită într-o variație de tensiune în domeniul **[0 – (V_{cc}-2V)]**. În rezervor, nivelul de apă este menținut în domeniul specificat cu ajutorul unei pompe comandată de **un comparator** și **un relee electromagnetic**.

Ansamblul pompă – relee se va modela cu ajutorul unui rezistor. Starea pompei (pornit/oprit) este semnalizată de un **LED** având culoarea specificată la punctul **d**.

Punctele a, b c și d se găsesc în secțiunea **Date de proiectare** de pe pagina următoare.

2 Date de proiectare

- Nivel maxim de măsură [cm]: 450cm
- Domeniul nivelului de lichid din rezervor [cm]: 70-400cm
 - Rezistența senzorului [Ω]: 14k-24k
 - VCC [V]: 15V
- Culoare LED de semnalizare: albastră

3 Descrierea și funcționarea circuitului

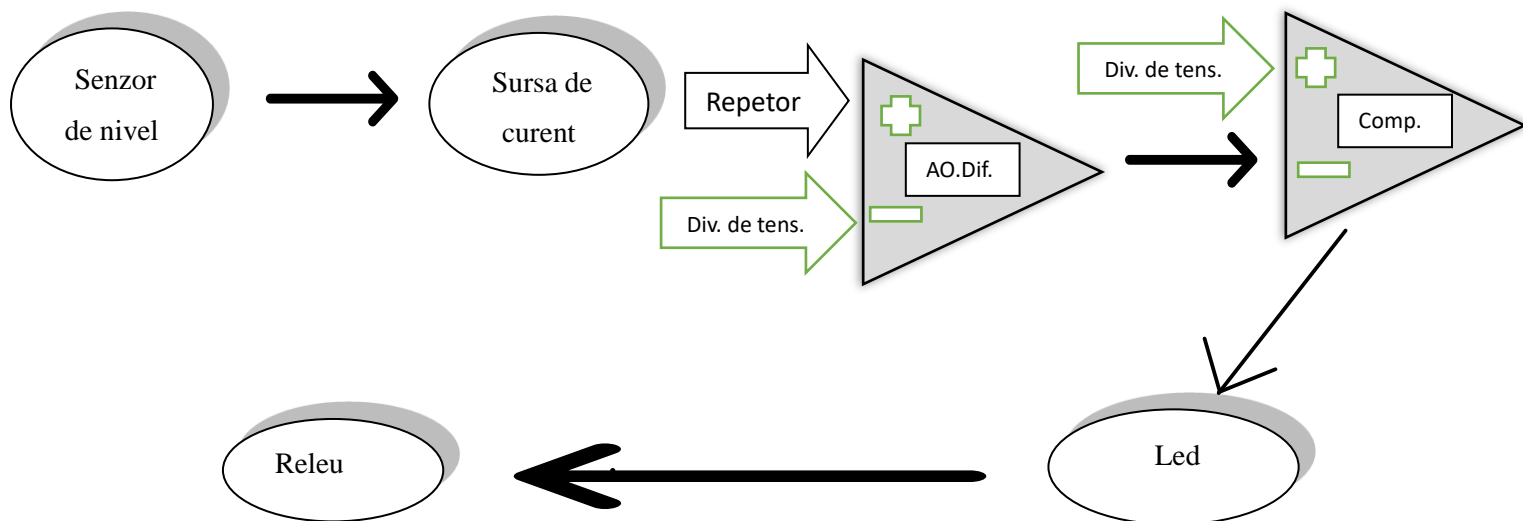
Sistemul de control al nivelului apei este compus dintr-un circuit electronic care utilizează componente esențiale pentru funcționarea sa. Aceste componente sunt:

- **Oglindă de curent:** Oglinda generează curent constant, astfel încât variația liniară de rezistență determină o variație liniară de tensiune care cade pe rezistența senzorului. **Amplificator tampon**, numit și **repetor de tensiune**: Un amplificator de tensiune este folosit ca tampon pentru a izola senzorul de restul circuitului și pentru a **adapta impedanța**.
- **Amplificator diferențial:** Această componentă amplifică diferența de tensiune dintre ieșirea amplificatorului tampon și o tensiune de referință corespunzătoare intervalului dorit al nivelului apei.
- **Comparator:** Un alt amplificator operațional este configurat ca și comparator pentru a compara tensiunea amplificatorului diferențial cu o tensiune de prag. Ieșirea comparatorului controlează releul electromagnetic prin intermediul unui comutator cu tranzistor.
- **Releu electromagnetic:** Releul este folosit pentru a controla pompa, în funcție de semnalul primit de la comparator. Atunci când nivelul apei scade sub pragul prestabilit, releul activează pompa pentru a umple rezervorul.
- **LED albastru**, conectat în serie cu un rezistor de limitare a curentului, este utilizat pentru a indica dacă pompa este pornită sau oprită. LED-ul se aprinde atunci când pompa este activată.

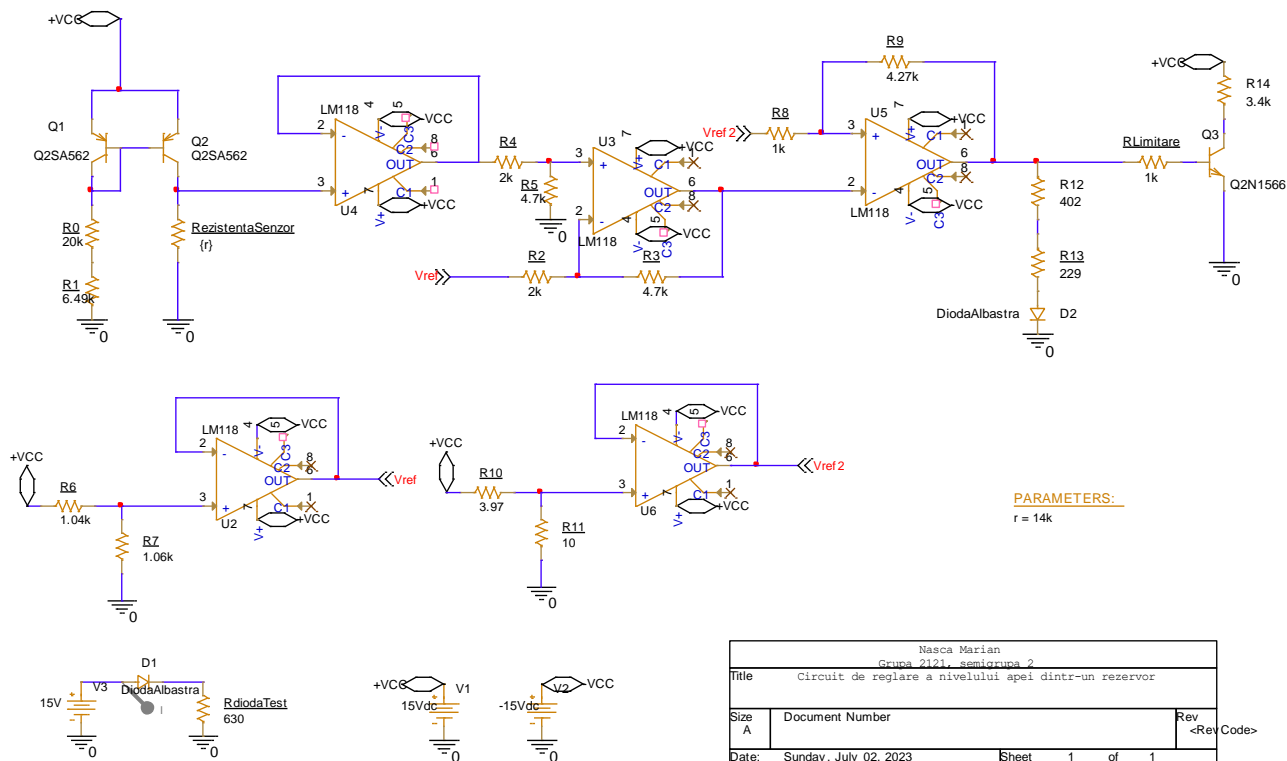
În ansamblu, acest circuit folosește principii electronice de bază, cum ar fi amplificatoarele operaționale, rezistențele, tranzistoarele, relele și LED-urile, pentru a converti variația rezistenței electrice a senzorului într-o variație de tensiune. Această tensiune este apoi comparată cu o valoare de referință, iar în funcție de rezultatul comparației, pompa este pornită sau oprită pentru a menține nivelul apei în intervalul dorit din rezervor.

4 Designul circuitului

4.1 Schema bloc a circuitului



4.2 Schema electrică a circuitului



5 Componentele utilizate

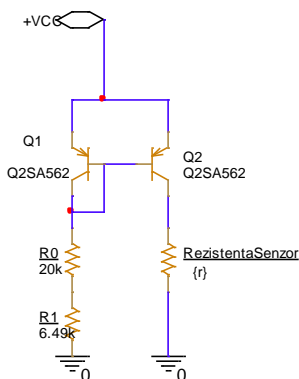
5.1 Lista de componente

În realizarea acestui circuit de reglare am folosit următoarele componente, enumerate în tabelul următor.

Tabel 1. Componente

Nr. crt.	Denumire	Part Number	Numărul de componente	Specificații
1	Tranzistor	Q2A562	2	NPN VCB=35V VCE=30V VBE=5V Ic=500mA
		Q2N1566	1	VCB=80V VCE=60 VBE=5V Ic=100mA
2	Amplificator	LM118	5	VCC: $\pm 20V$ Temp.: $0^{\circ}C-70^{\circ}C$
3	Rezistor	-	17	Toleranță 0,5%
4	Dioda LED	L-9294QBC-D	1	Tensiune de operare: 2.4V If=20mA
5	Sursa	-	2	$\pm 15V$

5.2 Sursa de curent



Pentru realizarea sursei de curent am folosit o sursă VCC 15V, două tranzistoare bipolare, NPN, Q2SA562, o rezistență R0 de valoare 20k Ω , o rezistență R1 de valoare 6,49k Ω ambele cu rol de limitare a curentului prin tranzistor și o rezistență a senzorului de nivel, RezistentaSenzor.

Oglinda generează curent constant, astfel încât variația liniară de rezistență determină o variație liniară de tensiune care cade pe rezistența senzorului, denumită RezistentaSenzor.

Acestei rezistențe senzor i-am atribuit parametrul global r, care variază conform cerinței, între 14k Ω -24k Ω .

5.2.1 Dimensionare sursă de curent

$$I = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_{smax}} = \frac{15 - 2}{24k} = \frac{13}{24k} = 0,54mA \quad (1)$$

$$V_{smax} = 24k \cdot 0,54m = 13V \quad (2)$$

$$V_{smin} = 14k \cdot 0,54m = 7,56V \quad (3)$$

$$\text{Din (2) și (3)} \Rightarrow (4)$$

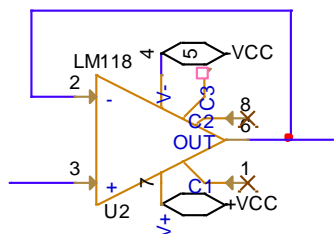
$$V_{out} \in [7,56V, 13V] \quad (4)$$

$$V_{CC} = V_{BE} + V_{R1} \Rightarrow V_{R1} = 15V - 0.7V = 14.3V \Rightarrow V_{R1} = 14.3V \quad (5)$$

$$V = I \cdot R \Rightarrow R = \frac{V}{I} = \frac{14.3V}{0.54mA} = 26,48K\Omega \quad (6)$$

Cum 26,48k Ω nu este o valoare standardizată, am folosit două rezistențe în configurație serie care să echivaleze valoarea calculată. O rezistență a fost aleasă de 6,49k iar cealaltă de 20k. Însușind acestea două ne apropiem foarte mult de valoarea dorită.

5.3 Repetor de tensiune

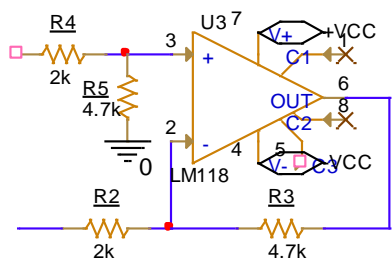


În realizarea circuitului am utilizat în total 3 amplificatoare operaționale LM118, în configurație de repetor de tensiune, care are rolul de adaptare de impedanță. Totodată, repetorul nu lăsa curentul din amplificatorul diferențial să se întoarcă, pentru a nu exista pierderi.

Tensiunea de la ieșirea oricărui repetor de tensiune, după cum îi spune și numele nu se schimbă, așadar:

$$V_{out} \in [7,56V, 13V] \quad (7)$$

5.4 Amplificatorul Diferențial



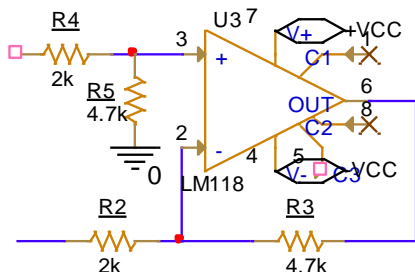
În acest circuit, amplificatorul este configurat ca un Amplificator Operațional Diferențial.

Scopul său este de a **amplifica variația de tensiune generată de senzorul de nivel**. Prin setarea adecvată a amplificatorului, putem obține o ieșire care este proporțională cu modificarea **rezistenței electrice a senzorului de nivel**, cea cu parametrul **r**, care variază între **14kΩ-24kΩ**.

Amplificatorul diferențial este construit utilizând rezistențele indicate în diagrama atașată, iar acesta este alimentat cu o sursă de tensiune de $\pm 15V$. La capătul inversor al amplificatorului operațional, avem o tensiune de referință calculată, $V_{ref} = 7,56V$.

Rolul esențial al amplificatorului diferențial este de a **menține nivelul de apă din rezervor în intervalul dorit**. Acest lucru se realizează furnizând o diferență de tensiune amplificată, care va fi ulterior **comparată** cu o tensiune de prag prestabilită, a comparatorului.

5.4.1 Dimensionare Amplificator Diferențial



$$R_2 = R_4 \quad (8)$$

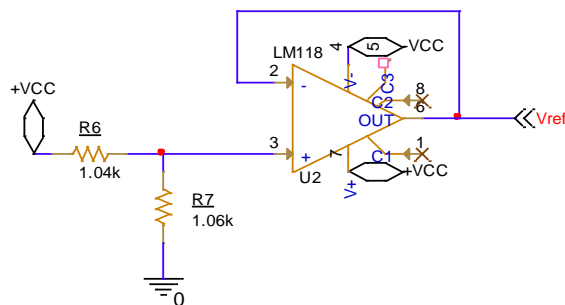
$$R_3 = R_5 \quad (9)$$

$$V_{out2} \in [0, V_{CC} - 2V] \Rightarrow V_{out2} \in [0, 13V] \quad (10)$$

$$V_{out2} = \frac{R_{3,5}}{R_{2,4}} \cdot (V_{out} - V_{ref}) \quad (11)$$

- La înlocuirea lui V_{out2} cu $0V \Rightarrow V_{ref} = 7,56V$
- La înlocuirea lui V_{out2} cu $0V$, și a lui V_{ref} cu valoarea calculată de $7,56V$ în formula (11) rezultă raportul rezistențelor $\frac{R_{3,5}}{R_{2,4}} = 2,39$.
- În final, am ales $R_{3,5} = 4,7k$ iar $R_{2,4} = 2k$.

5.4.2 Divizorul de tensiune al Amplificatorului Diferențial



Acest divizor de tensiune este format din două rezistențe, R_6 și R_7 în configurație serie, urmate de un repetor de tensiune.

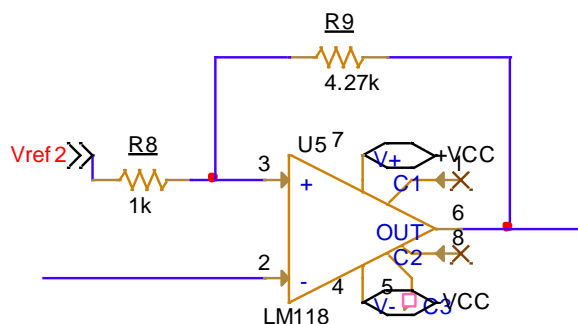
$$V_{ref} = \frac{R_7}{R_7 + R_6} \cdot V_{CC} \Rightarrow \frac{7,56V}{15V} = \frac{R_7}{R_7 + R_6} \quad (12)$$

În urma calculelor $R_6 = 0,984 \cdot R_7$ și am ales:

$$R_6 = 1,04k$$

$$R_7 = 1,06k$$

5.5 Comparator



Comparatorul compară **tensiunea amplificată de la ieșirea amplificatorului diferențial** și **tensiunea de prag**. Pe baza rezultatului acestei comparații, acesta generează un semnal de ieșire care controlează releul electromagnetic prin intermediul unui comutator tranzistor.

Când nivelul apei se situează sub intervalul dorit, ieșirea comparatorului este înaltă, ceea ce determină ca dioda led sa lumineze și pompa să pornească. Acest lucru are ca rezultat ridicarea nivelului apei în rezervor, ceea ce avem nevoie.

În cazul în care nivelul apei se încadrează în intervalul dorit, ieșirea comparatorului devine scăzută, ceea ce dezactivează releul și oprește pompa. Acest lucru permite menținerea nivelului apei în limitele dorite.

Prin urmare, comparatorul joacă un **rol crucial** în controlul și menținerea nivelului de apă în rezervor în intervalul dorit, în funcție de semnalul de ieșire generat de amplificatorul diferențial.

5.5.1 Dimensionare comparator

La acest comparator îi vom calcula tensiunile de prag, iar cu ajutorul rezultatelor vom putea dimensiona rezistențele R8 și R9.

$$V_{PJ} = \frac{70 \text{ cm} \cdot 13V}{450 \text{ cm}} \Rightarrow V_{PJ} = 5,85 V \quad (13)$$

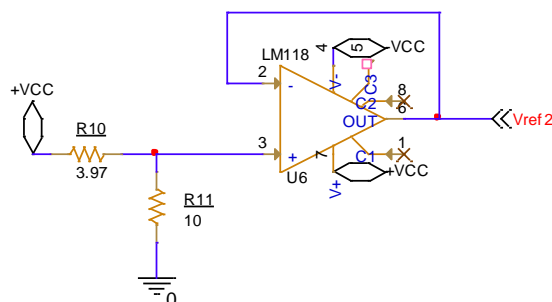
$$V_{PS} = \frac{400 \text{ cm} \cdot 13V}{450 \text{ cm}} \Rightarrow V_{PS} = 11,55 V \quad (14)$$

$$\frac{V_{PS} - V_{PJ}}{2 \cdot V_{CC}} = \frac{R_8}{R_9 + R_8} \quad (15)$$

Înlocuind (13) și (14) în (15) $\Rightarrow \frac{R_9}{R_8} = 4,26$.

Am ales $R_9 = 4,27k$ iar $R_8 = 1k$.

5.5.2 Divizor de tensiune comparator



Acest divizor de tensiune este format din două rezistențe, R10 și R11 în configurație serie, urmate de un repetor de tensiune.

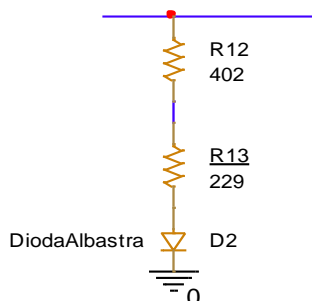
$$V_{PS} + V_{PJ} = 2 \cdot \frac{R_9}{R_9 + R_8} \cdot V_{ref2} \quad (16)$$

Știind atât valoarea rezistențelor R8 și R9, cât și a tensiunilor de prag, am putut calcula valoarea lui $V_{ref2} = 10,74V$.

Cu valoarea cu V_{ref2} calculată, se pot deduce valorile rezistențelor R_{10} și R_{11} cu ajutorul următoarei formule de calcul:

$$V_{ref2} = \frac{R_{11}}{R_{10} + R_{11}} \cdot V_{CC} \quad (17) \quad \text{din care} \Rightarrow \frac{R_{10}}{R_{11}} = 0,396. \text{ Am ales } R_{10} = 3,97\Omega \text{ iar } R_{11} = 10\Omega.$$

5.6 Dioda LED Albastră



Dioda LED ne semnalizează dacă pompa este pornită sau oprită.

Rezistențele R12 și R13 au următoarele roluri:

- **Limitează curentul:**

Dioda LED este o componentă cu **caracteristică de tensiune-curent non-lineară**. Dacă este conectată direct la o sursă de tensiune, dioda LED poate permite un curent foarte mare să treacă prin ea, ceea ce poate duce la deteriorarea sa. Rezistența este folosită pentru a limita curentul care trece prin dioda LED, asigurându-se astfel că aceasta operează în limitele sale nominale și este protejată împotriva supratensiunilor.

- **Protecție împotriva fluctuațiilor de tensiune:**

Rezistența poate oferi o protecție suplimentară împotriva fluctuațiilor de tensiune din circuit. Ea poate ajuta la atenuarea variațiilor de tensiune și la stabilizarea curentului care trece prin dioda LED, astfel încât aceasta să nu fie supusă unor tensiuni sau curenți excesivi în cazul fluctuațiilor de alimentare.

- **Protecție termică:**

Rezistența poate contribui la disiparea căldurii generate de dioda LED. Aceasta ajută la prevenirea supraîncălzirii diodei și la menținerea temperaturii în limite sigure.

Pentru dimensionarea acestei rezistențe importante, am folosit următoarele formule:

$$R_{LED} = R_{13} + R_{12} \quad (18)$$

$$I_{LED} = 20 \text{ mA} \quad (19)$$

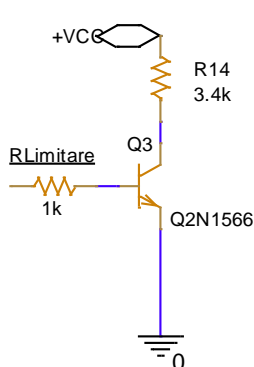
$$V_{LED} = V_{DD} - V_{dioda} \quad (20)$$

$$V_{dioda} = 2.4 \text{ V} \quad (21)$$

$$\text{Din (20) și (21)} \Rightarrow V_{LED} = 15\text{V} - 2.4\text{V} = 12.6 \text{ V}$$

Din (19) și (20) $\Rightarrow R_{LED}=630\ \Omega$. Cum $630\ \Omega$ nu este o valoare standardizată, am înlocuit R_{Led} cu două rezistențe: $R_{12} = 402\ \Omega$ și $R_{13}=229\ \Omega$, suma lor fiind apropiată de valoarea de care am avea nevoie.

5.7 Releu



Un releu electromagnetic este un dispozitiv electric care utilizează un câmp magnetic pentru a deschide sau închide un circuit electric.

Dacă tensiunea de la ieșirea amplificatorului diferențial se află între pragurile comparatorului, dioda led nu luminează iar releul este oprit.

Dacă tensiunea de la ieșirea amplificatorului diferențial nu se află între pragurile comparatorului, dioda led luminează iar releul este pornit.

Rezistența R_{14} este rezistența de pe bobină din releul electromagnetic. Această rezistență fiind adăugată din foaia de catalog a releului care are Part Number **RSL1AB4BD**.

Rezistența $R_{Limitare}$ am ales-o de 1k și are la rândul ei următoarele roluri:

- **Protecție împotriva curentului excesiv:**

Releul electromagnetic are o bobină care necesită un curent specific pentru a funcționa corect. Rezistența este utilizată pentru a limita curentul care trece prin bobină, evitând astfel un curent excesiv care ar putea cauza deteriorarea releului sau a altor componente din circuit.

- **Prevenirea încărcării necontrolate a circuitului:**

În absența rezistenței, în momentul în care releul este dezactivat, bobina acestuia se transformă într-o sursă de tensiune inversă, care poate produce o tensiune mare și necontrolată în circuit. Rezistența este utilizată pentru a limita această tensiune inversă și pentru a proteja celelalte componente din circuit de supratensiuni neașteptate

- **Absorbția energiei reacției electromagnetice:**

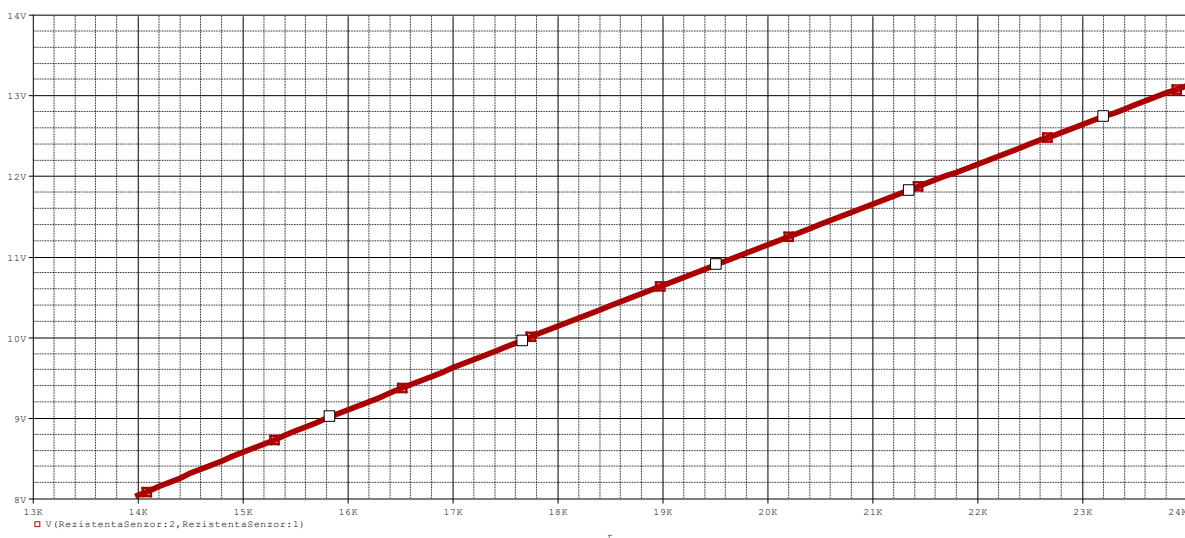
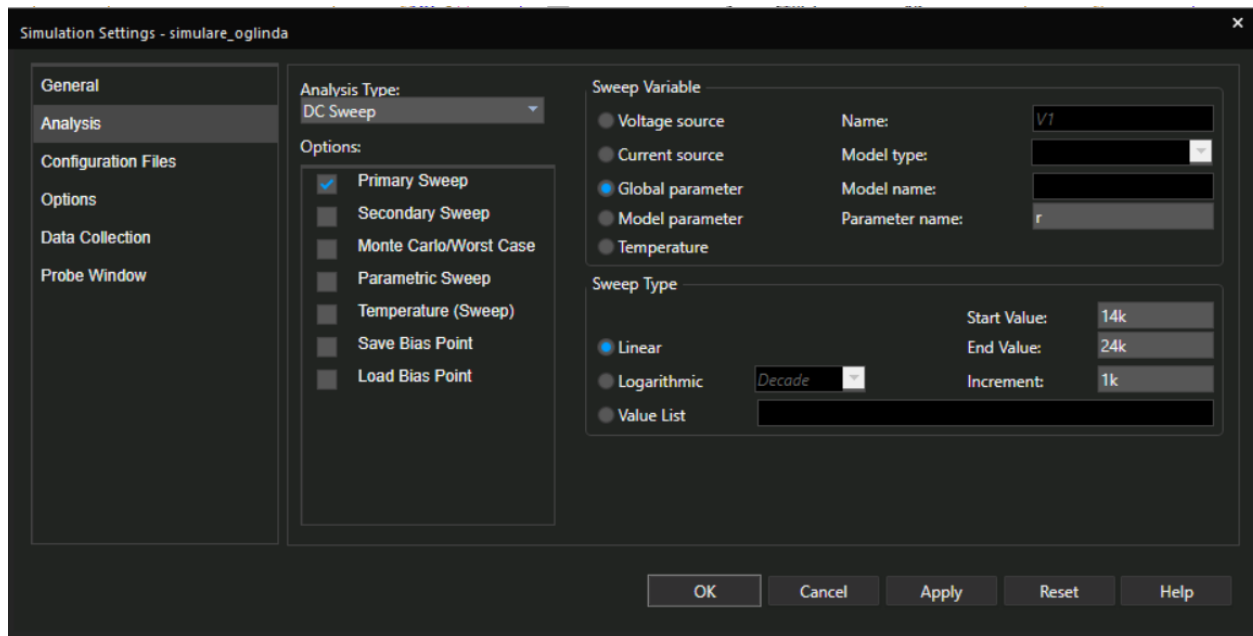
Atunci când curentul prin bobina releului este întrerupt brusc, apare o reacție electromagnetica care poate produce vârfuri de tensiune și impulsuri de curent.

Rezistența este folosită pentru a absorbi și a disipa această energie reactivă, protejând astfel circuitul împotriva efectelor negative ale acestor vârfuri și impulsuri.

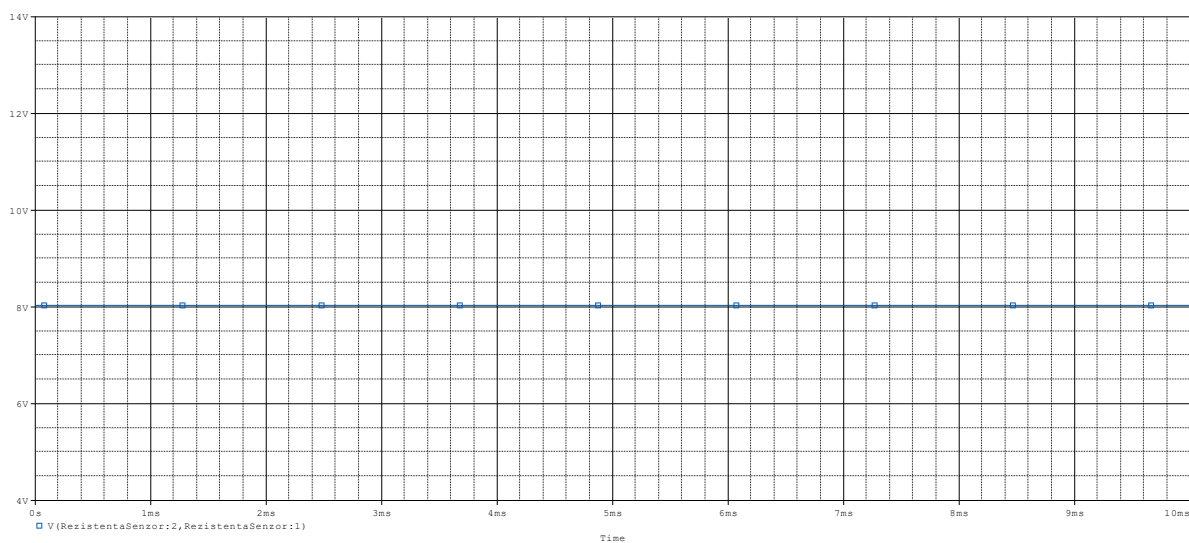
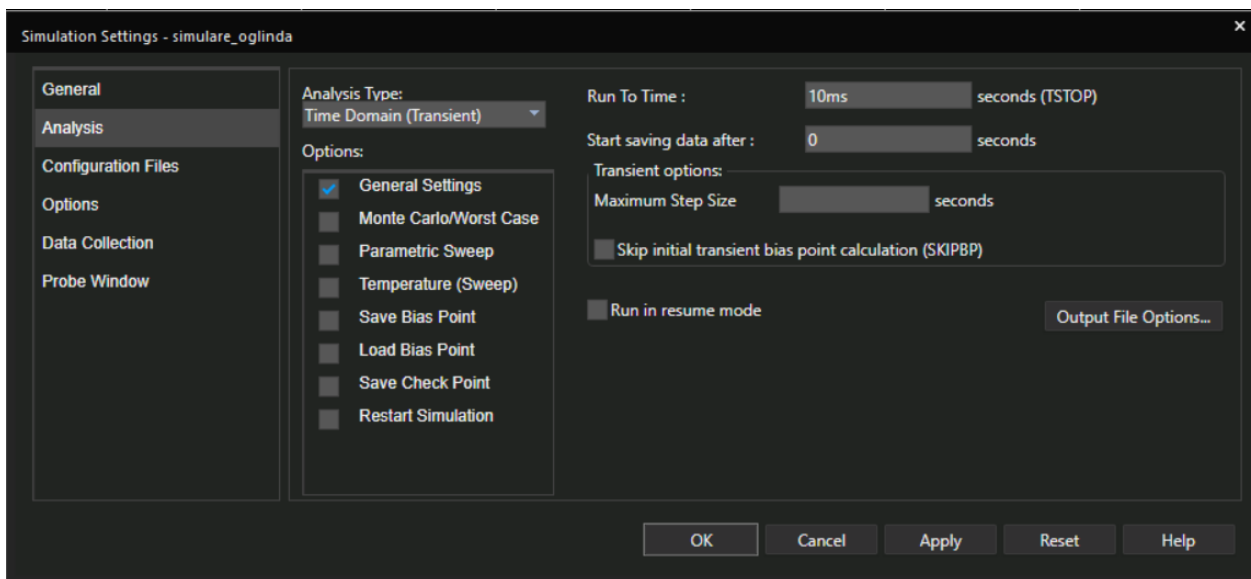
6 Rezultate simulări

6.1 Simulare oglindă de curent

Imagine 1- Variația tensiuni de la ieșirea senzorului (DC-SWEEP)



Imagine 2- Variația tensiuni de la ieșirea senzorului (Time Domain)



Simulation Settings - simulare_oglinnda

General

Analysis

Configuration Files

Options

Data Collection

Probe Window

Analysis Type:
Time Domain (Transient)

Options:

- ☒ General Settings
- ☐ Monte Carlo/Worst Case
- ☒ Parametric Sweep
- ☐ Temperature (Sweep)
- ☐ Save Bias Point
- ☐ Load Bias Point
- ☐ Save Check Point
- ☐ Restart Simulation

Sweep Variable

- ☐ Voltage source
- ☐ Current source
- ☒ Global parameter
- ☐ Model parameter
- ☐ Temperature

Name: V1

Model type: [dropdown]

Model name: [text box]

Parameter name: r

Sweep Type

- ☒ Linear
- ☐ Logarithmic
- ☐ Value List

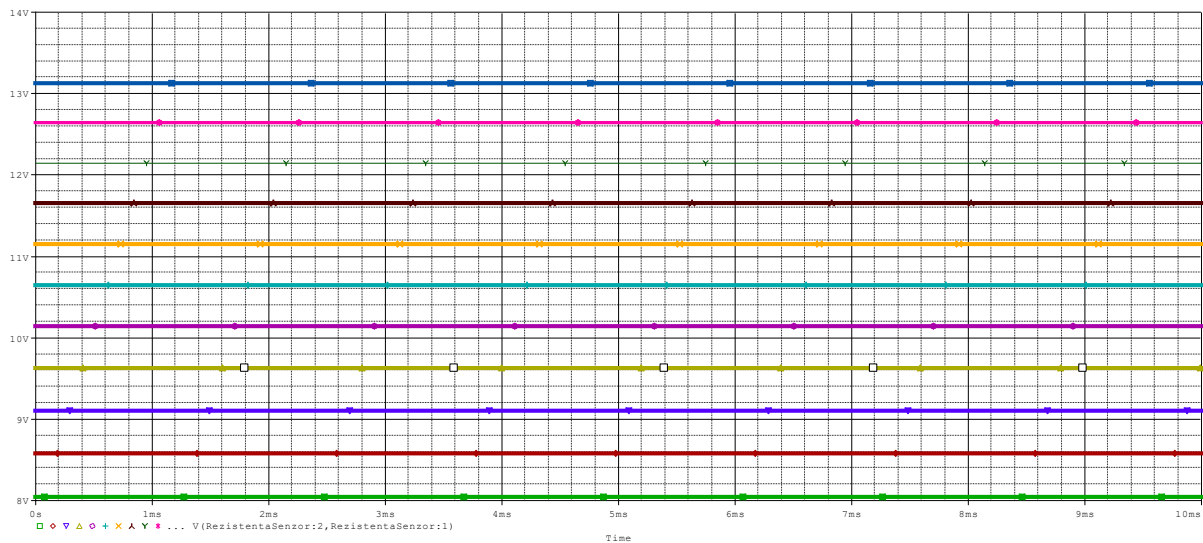
Decade [checkbox]

Start Value: 14k

End Value: 24k

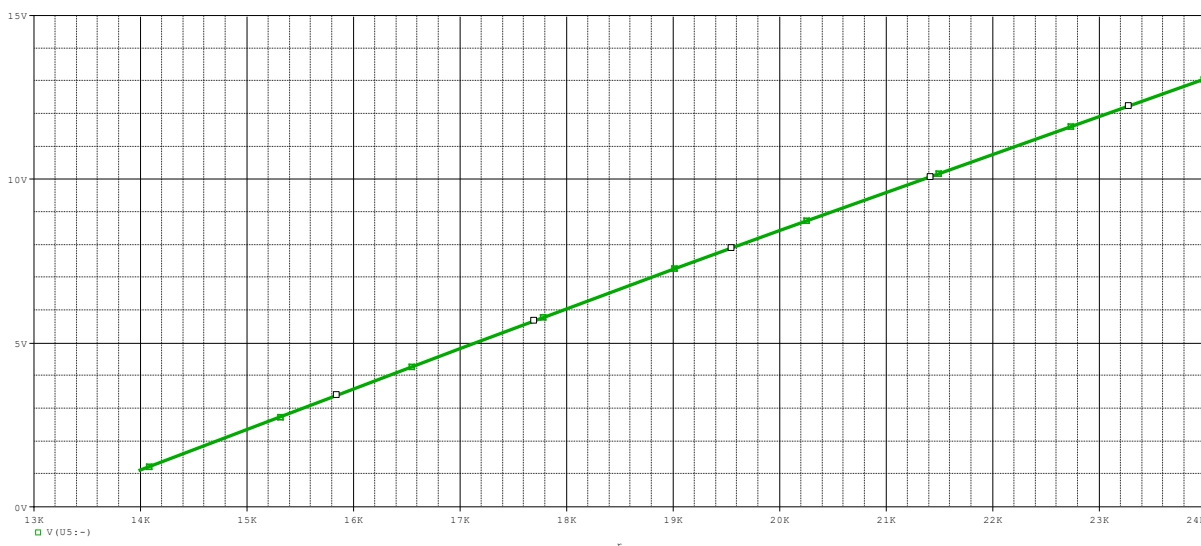
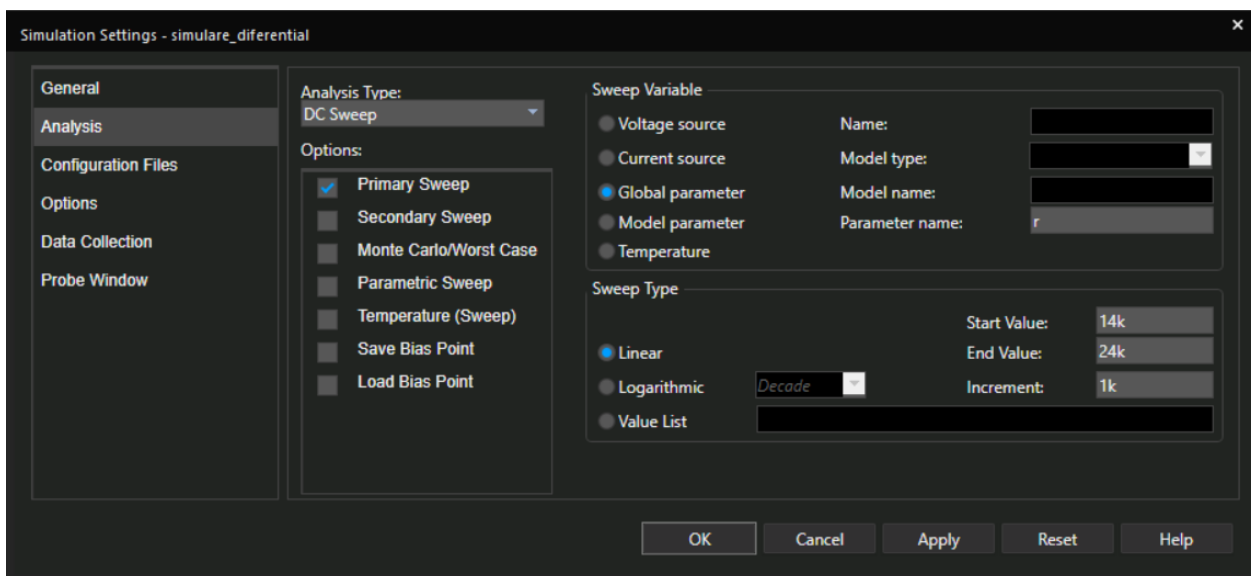
Increment: 1k

OK Cancel Apply Reset Help



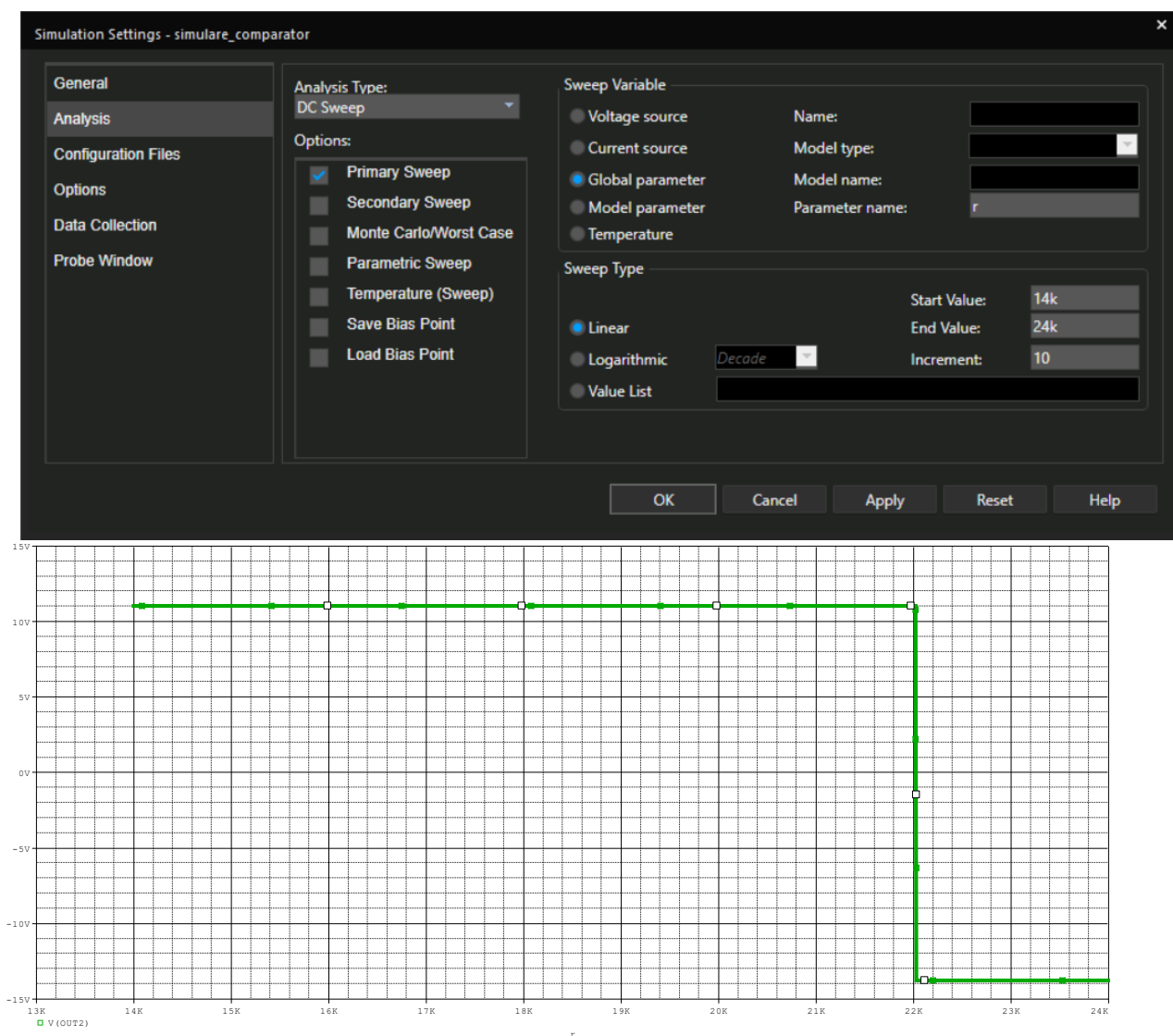
6.2 Simulare Amplificator Diferențial

Imagine 1. Variația tensiuni de la ieșirea Amplificatorului Diferențial



6.3 Simulare comparator

Imagine 1. Variația tensiunii de la ieșirea comparatorului.



6.3.1 Afisare VPJ

Simulation Settings - sim_VPJ

General
Analysis
Configuration Files
Options
Data Collection
Probe Window

Analysis Type: DC Sweep

Options:

- ☒ Primary Sweep
- ☐ Secondary Sweep
- ☐ Monte Carlo/Worst Case
- ☐ Parametric Sweep
- ☐ Temperature (Sweep)
- ☐ Save Bias Point
- ☐ Load Bias Point

Sweep Variable

- ☐ Voltage source
- ☐ Current source
- ☒ Global parameter
- ☐ Model parameter
- ☐ Temperature

Name:

Model type:

Model name:

Parameter name:

Sweep Type

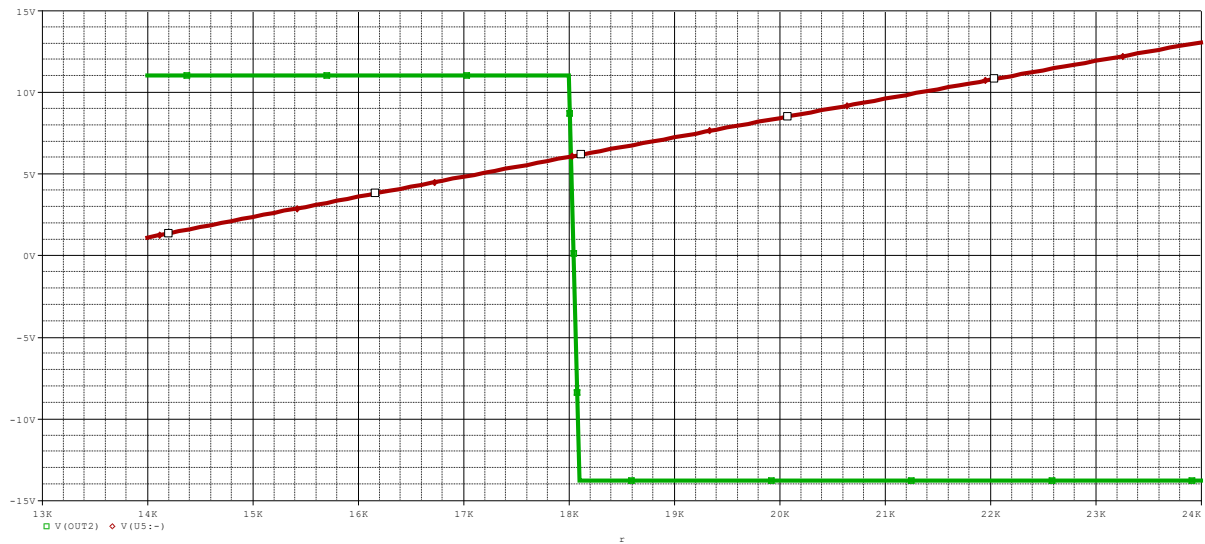
- ☒ Linear
- ☐ Logarithmic
- ☐ Value List

Decade

Start Value:

End Value:

Increment:



6.3.2 Afisare VPS

Simulation Settings - sim_VPS

General

Analysis

Configuration Files

Options

Data Collection

Probe Window

Analysis Type:
DC Sweep

Options:

- ☒ Primary Sweep
- ☐ Secondary Sweep
- ☐ Monte Carlo/Worst Case
- ☐ Parametric Sweep
- ☐ Temperature (Sweep)
- ☐ Save Bias Point
- ☐ Load Bias Point

Sweep Variable

- ☐ Voltage source
- ☐ Current source
- ☒ Global parameter
- ☐ Model parameter
- ☐ Temperature

Name:

Model type:

Model name:

Parameter name:

Sweep Type

- ☒ Linear
- ☐ Logarithmic
- ☐ Value List

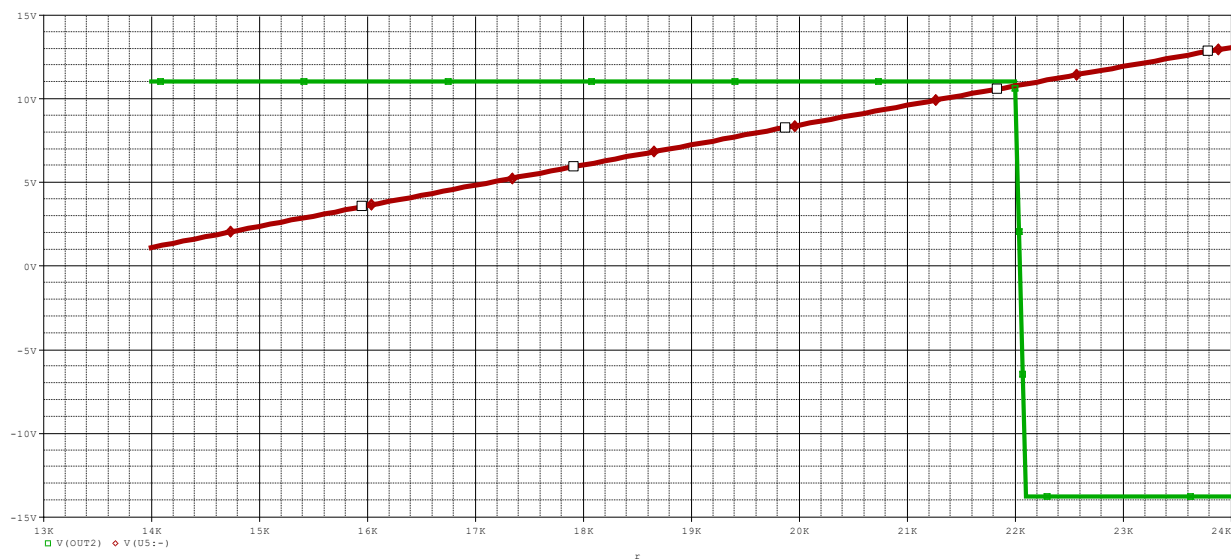
Start Value:

End Value:

Increment:

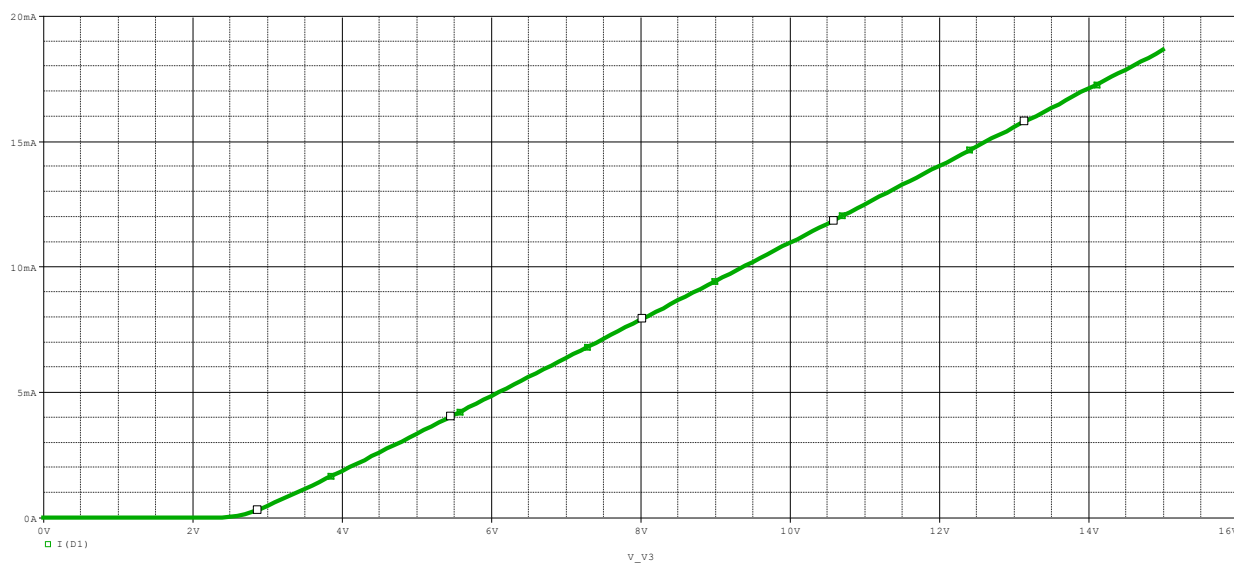
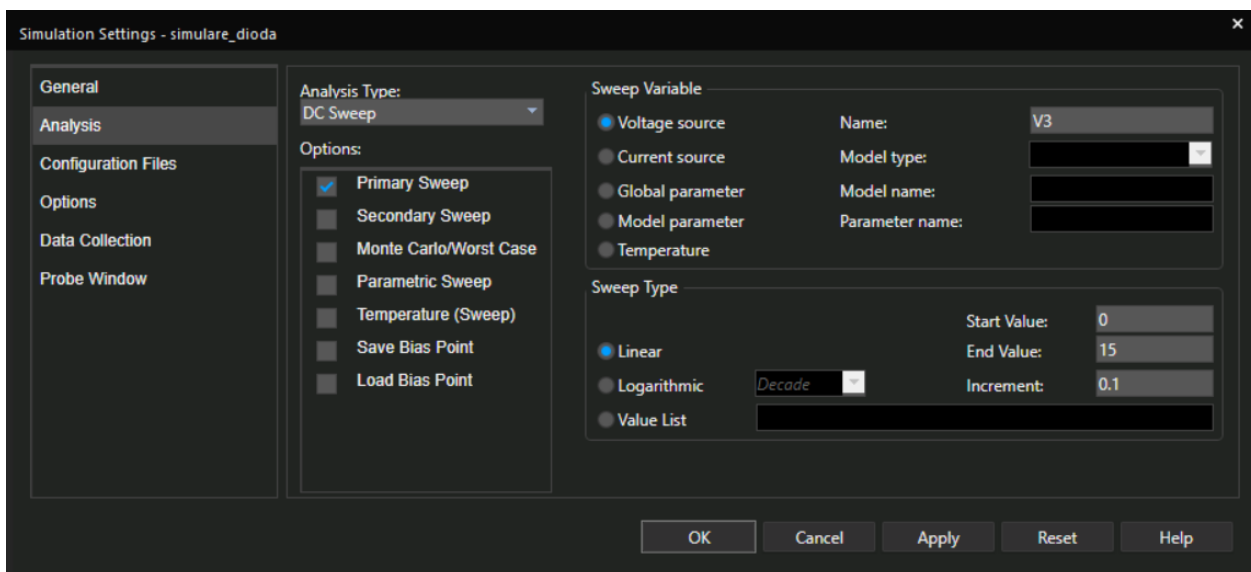
Decode

OK Cancel Apply Reset Help



6.4 Simulare diodă albastră

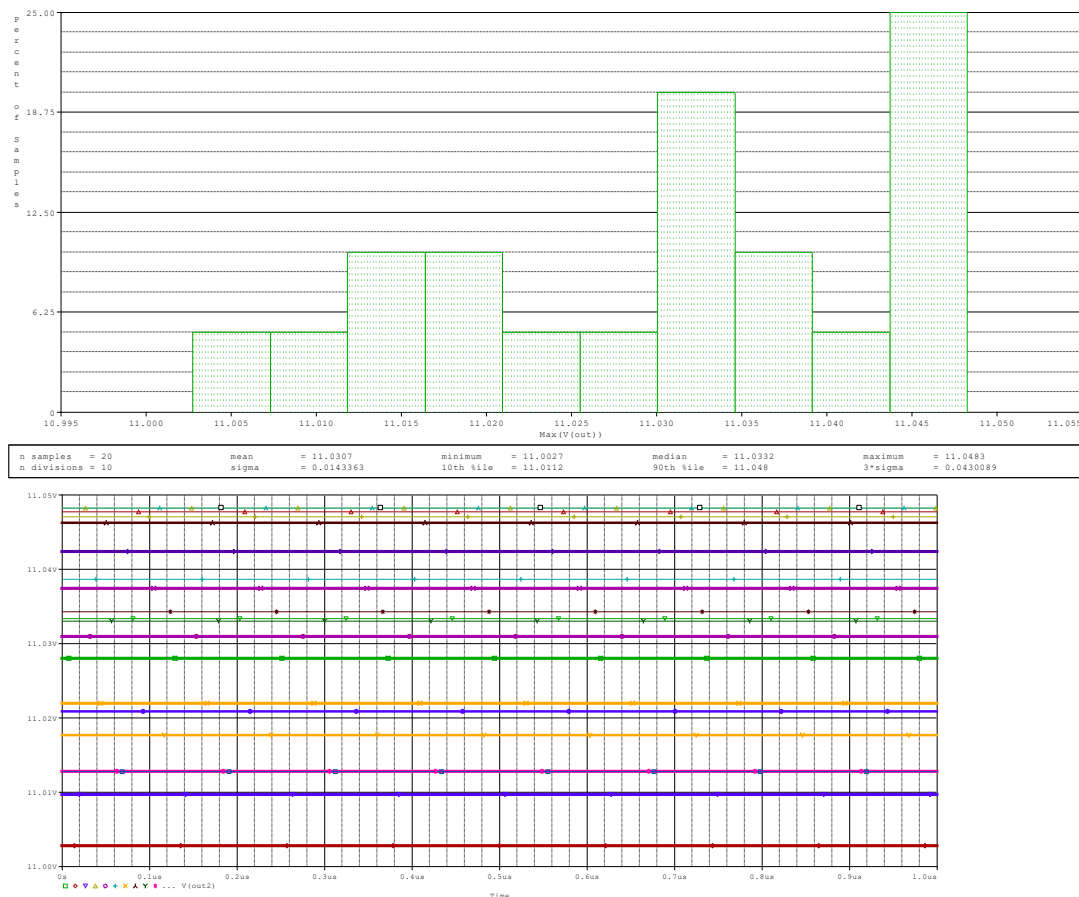
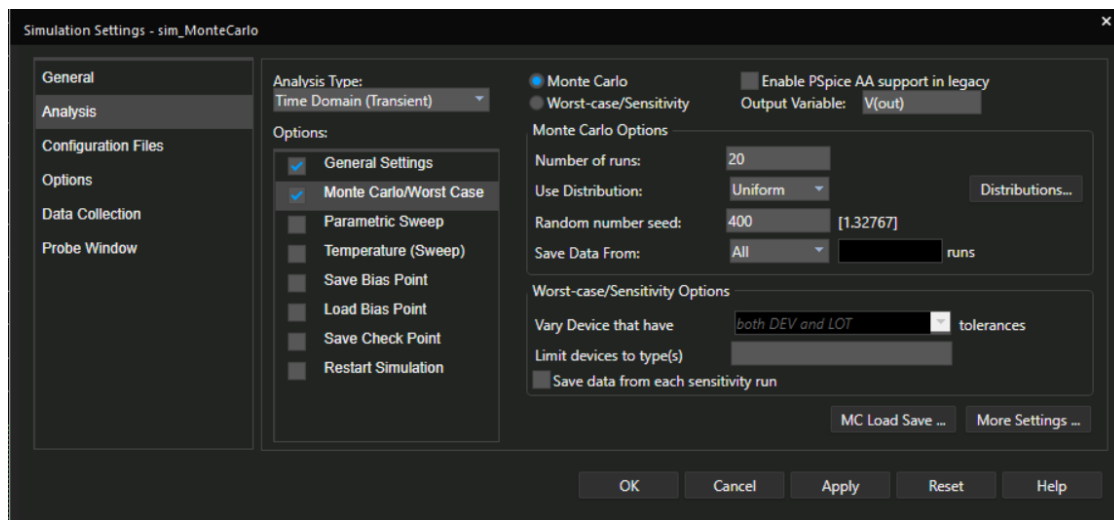
Imagine 1. Variația tensiunii pe diodă



6.5 Analiza Monte Carlo

Această analiză este utilizată pentru a analiza performanța circuitelor electronice în diferite condiții, cum ar fi variațiile valorilor componentelor sau factorii de mediu.

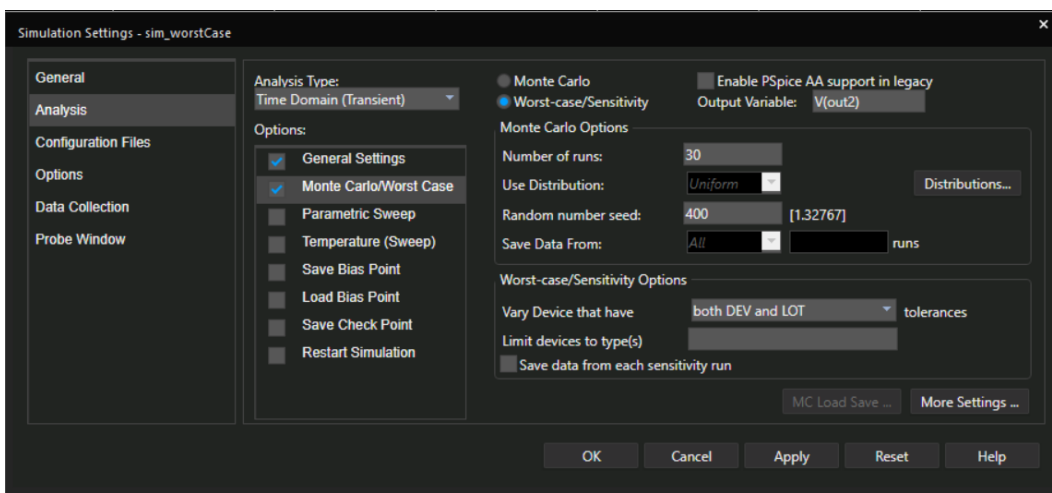
Este o metodă statistică care poate ajuta la identificarea potențialelor probleme și la optimizarea designului circuitului.



6.6 Analiza Worst Case

Analiza Worst Case este o metodă de simulare utilizată pentru a analiza performanța circuitelor electronice sub diferite condiții, cum ar fi variațiile valorilor componentelor sau factorii de mediu.

Această analiză poate ajuta la identificarea problemelor potențiale și la optimizarea designului circuitului prin identificarea valorilor critice ale componentelor care pot afecta performanța circuitului.



WORST CASE ALL DEVICES

Device	MODEL	PARAMETER	NEW VALUE	
R_RezistentiaSenzor	R_RezistentiaSenzor	R	1	(Unchanged)
R_R6	R_R6	R	1	(Unchanged)
R_R7	R_R7	R	1	(Unchanged)
R_R4	R_R4	R	1	(Unchanged)
R_R3	R_R3	R	1	(Unchanged)
R_R2	R_R2	R	1	(Unchanged)
R_R11	R_R11	R	1.005	(Increased)
R_R10	R_R10	R	.995	(Decreased)
R_R8	R_R8	R	1.005	(Increased)
R_R9	R_R9	R	1.005	(Increased)
R_R12	R_R12	R	1.005	(Increased)
R_RLimitare	R_RLimitare	R	1.005	(Increased)
R_R14	R_R14	R	.995	(Decreased)
R_R13	R_R13	R	1.005	(Increased)
R_R0	R_R0	R	1	(Unchanged)
R_R1	R_R1	R	1	(Unchanged)

7 Bibliografie

- [Cursuri Circuite Electronice Fundamentale](#)
 - [Cursuri Dispozitive Electronice](#)
- Ovidiu Aurel Pop, „Proiectare asistată de calculator”, Editura Mediamira 2007;

7.1 Fișe de catalog

- Tranzistor Q2SA562

<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheetpdf/view/82354/ETC/2SA562.html>

- Tranzistor Q2N1566

<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheetpdf/view/450475/NJSEMI/2N1566.html>

- Amplificator operațional LM118

<https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=LM118&sField=4>

- Diodă albastră

- <https://www.farnell.com/datasheets/1519875.pdf>

- Releu

<https://www.alldatasheet.com/datasheetpdf/pdf/1325010/SCHNEIDER/RSL1AB4BD.html>

- Rezistențe

Toate rezistențele au fost alese din seria de valori standardizată E192, toate având toleranța 0,5%.

<https://www.el-component.com/standard-resistor-values-e192>